Agriculture
Canada

Research Branch
Direction générale de la recherche

Technical bulletin 1984-1E

The versatile soil moisture budget — version three

Canada

84- 4819

The map on the cover has dots representing Agriculture Canada research establishments.

The versatile soil moisture budget — version three

J. A. DYER
Resources and Environment Section
Crop Production Division
Regional Development Branch
Agriculture Canada
Ottawa, Ontario

A. R. MACK
Agrometeorology Section
Land Resource Research Institute
Research Branch
Agriculture Canada
Ottawa, Ontario

LRRI Contribution No. 82-33

Research Branch
Agriculture Canada
1984

Copies of this publication are available from:
Agrometeorology Section
Land Resource Research Institute
Research Branch
Agriculture Canada
Ottawa, Ontario
K1A 0C6

Produced by Research Program Service

©Minister of Supply and Services Canada 1984

Cat. No. A54—8/1984—1E ISBN 0-662-13031-6

Également disponible en français sous le titre
Le bilan hydrique du sol polyvalent — version trois

TABLE OF CONTENTS

	PAGE
Preface	2
Introduction	3
Evapotranspiration	4
- Root Extraction	7
- Crop Coefficients Adjustment	8
- Soil Water Retention	8
- Alternate Drying Curves	11
Infiltration and Drainage	11
- Drainage Rate Parameters	13
Snow Budget	14
- Snowpack Losses	16
- Snowmelt Infiltration	16
Field Performance Appraisal	17
- Results	19
Summary	22
References	23

Appendix A: VBIII Program
Appendix B: Zonal Parameters Adjustment Program
Appendix C: Run Control Data
Appendix D: Output Data
Appendix E: Evapotranspiration Coefficients (k, Z)

PREFACE

Soil water is an important topic in agriculture, forestry and hydrology. It plays a significant role in plant growth, in determining crop yields and in the hydrological state of a region. It affects farm operations, cultural practices, harvesting conditions, irrigation requirements and water supplies. To monitor the dynamic changes in the water content of soils, non-destructive methods of sampling are required. They must provide repetitive, timely and reliable information under a wide range of climatic, vegetative and physiographic conditions, as well as cultural practices. Weather based computer simulation models have proved to be an effective soil water monitoring technique.

Various soil moisture models have been proposed taking into account a number of biophysical factors. Many of these models follow the daily water budgeting approach. Budgets are a compromise between statistical and biophysical models. They are semi-empirical and incorporate many statistically derived coefficients to parameterize crop growth and soil water retention properties. They assess the soil water content for commonly grown crops, for normal soil conditions and for readily available climatic or weather data. One such budget is described in technical detail here.

The authors are indebted to many colleagues in the Land Resource Research Institute for assistance in preparing this bulletin. Review comments and editorial suggestions were provided by Johanne Boisvert, John Culley, Reinder De Jong, Henry Hayoe and Wolfgang Baier. In particular, suggestions by Johanne Boisvert led to several refinements in I/O features of the program. Helpful discussions and advice during the early stages of developing this version of the Versatile Budget came from Wilbur Sly, Stuart Edey and Wolfgang Baier. Contributions to background research were made by Lianne Dwyer and Wolfgang Baier, who co-authored the principle research papers which led to this version. Others, such as John Keng, Bob Stewart and Ken Wilkie (Technical University of Nova Scotia) also contributed useful discussions. The assistance given by the Data Processing staff of Agrometeorology is also much appreciated.

INTRODUCTION

Soil moisture budgets, such as the Versatile Soil Moisture Budget (Baier and Robertson, 1966), integrate present and past weather events to simulate daily soil water contents. The advantage of making such weather based estimates, over taking field measurements, is that such estimates are repeatable and non-destructive. Although field measurements are essential for development and verification of computer models, estimates are possible at times and locations where measurements are not feasible. Model estimates can therefore extrapolate information gained from periodic validation measurements. A detailed discussion of the range of soil water models that have been developed was prepared by De Jong (1981).

Soil moisture budgets have found a wide range of applications. Soil moisture reserve estimates are used in many crop growth and yield simulation models. One such model was developed for forages (Selirio and Brown, 1978). Soil moisture reserves, based on current and recent weather conditions, have been estimated in the prairie provinces and distributed weekly throughout the growing season (Edey, 1980). Moisture budgets have also been the basis of many field workday analyses (Dyer et al., 1978; Dyer, 1980), which play an important role in planning farm field operations.

The earliest budgets consisted of simple water balance equations, such as developed by Thornthwaite and Mather (1955). With the improvements in electronic data processing came the concept of multi-layer soil moisture budgets. A multi-layer budget developed by Holmes and Robertson (1959), known as the Modulated Budget, became one of the earliest and best known examples.

The Versatile Soil Moisture Budget (VB) developed by Baier and Robertson (1966) was an improvement on the Modulated Budget and achieved wide use and popularity. The VB has been described in detail in two previous technical publications (Baier et al., 1972; Baier et al., 1979). Each of these included refinements and the addition of submodels to the previous versions. The budget described here is the third version of the Versatile Soil Moisture Budget to be described in technical detail and is referred to as Versatile Budget - Version Three (VBIII).

This Budget (VBIII) includes features designed to make it more flexible and applicable to a wider range of uses. These new features include:

Drying curve index which can generate a wide range of different types of drying patterns. The index eliminates the so-called "z-tables" being read in.

Flexible soil zones. This budget can be run with two to six zones (or soil layers). As an auxiliary program, a routine is included which allows root coefficients to be modified to fit different zone patterns. This program (listed in Appendix B) can also be applied to the water holding properties of the zones.

Improved infiltration submodel. An experimental function for budgeting excess soil water is made available.

Reduced amount of data required as input controls (see Appendix C).

Revised output format. Zonal soil moisture contents can be expressed on a volumetric percent basis and displayed graphically by a line printer plotting function.

A variety of restart procedures are now available, recognizing a wide range of different possible applications to historical weather data.

The basic structure of the budget can still be described by the flow chart presented by Baier et al. (1979) shown in Figure 1. Model components can be split into evaporation functions, including all crop and soil water extraction characteristics, and recharge functions including infiltration, drainage, runoff and snowpack submodels. The computational steps in both soil water extraction and recharge are the same as the previous VB (Baier et al., 1979). However, many of the submodel components have had significant alterations. The input, computation and output of the new budget are shown in a flowchart in Appendix C.

EVAPOTRANSPIRATION

The basic drying relationship used by Baier and Robertson (1966) is still used here. This expresses the actual daily evapotranspiration (AE) as a function of the potential daily evapotranspiration rate (PE) as follows:

$$AE = \sum_{j=1}^{n} k_{ij} \cdot \frac{S_j}{C_j} \cdot Z_j \cdot PE \qquad (1)$$

where AE = actual evapotranspiration for any day.

$\sum_{j=1}^{n}$ = summation carried out from zone j = 1 to zone j = n.

k_{ij} = coefficient accounting for soil and plant characteristics in the jth zone during growth stage i.

S_j = available soil water in the jth zone at the morning observation of each day.

C_j = capacity for available water in the jth zone.

Z_j = adjustment factor for different types of soil dryness curves.

PE = potential evapotranspiration on each day.

By this equation water is withdrawn simultaneously from all depths and the daily decrease in soil moisture in each zone due to drying is computed. The feature which most distinguishes this series of budget models from other types of soil water models is the k and Z coefficients developed empirically for different root extraction and soil water retention patterns respectively. This relationship is used here, but some modifications were made so that the selection and input of k and Z are easier.

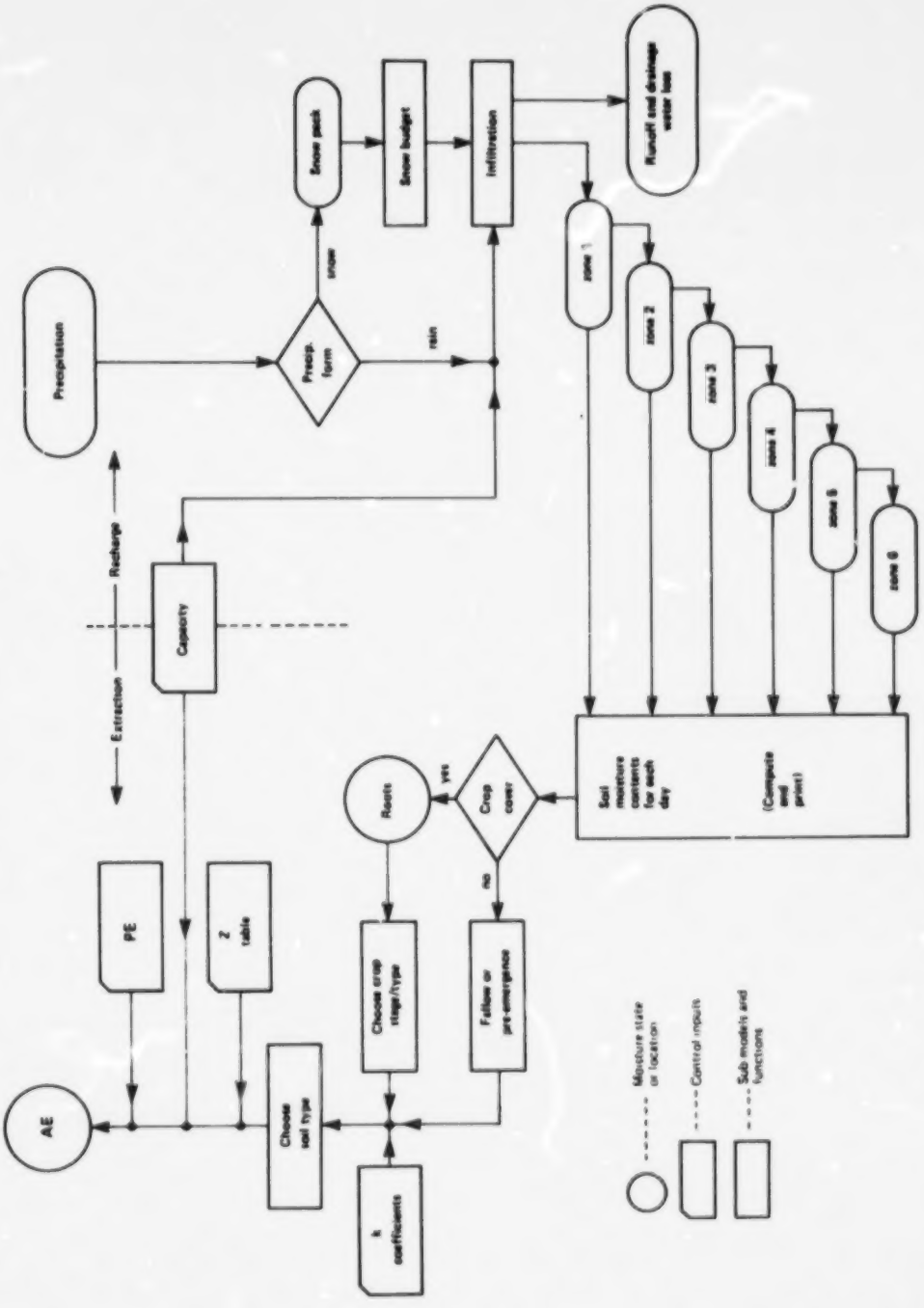


Figure 1. Soil-root-atmosphere pathways for water in the Versatile Budget.

Reliable estimates of daily PE are required input to this model. For most sites in Canada with historical weather records these estimates have been made from standard meteorological data and are available for use in this model. General equations, based on regression techniques, have been devised for estimating PE from various combinations of available meteorological data (Baier and Robertson, 1965); however, any valid technique for estimating PE can be used as input to VB.

Root Extraction

Each k-coefficient in eq. 1 reflects the root activity at different depths (zones) during different times of the growing season. The transition dates between crop stages must be read into the program for each year. The k-coefficients in use at present have been determined by iterative comparisons between computed and measured soil moisture, or were estimated so that extraction rates resemble the most probable crop rooting pattern under the prevailing environmental conditions.

The k-coefficients are selected from a table which must be supplied as part of the control inputs. The k-coefficient table is based on 5 stages of growth and up to 6 soil zones (or layers). In previous versions these coefficients could be used only for a specific zoning pattern. That pattern required that 5, 7.5, 12.5, 25, 25, and 25% of the total plant available water capacity be attributed to zones one to six respectively.

Recently it has been found that k-coefficients can be adapted to soil zoning patterns other than the standard set used in the original budget (Dyer and Baier, 1980). In the same study it was found that changes in the number and distribution of soil zones has little effect on the performance of the budget. Therefore, the VBIII program allows between 2 and 6 zones to be used. Appendix E gives sets of k which were developed in previous studies for different crop stages for the specific zone pattern given above. To adapt these tables of k-coefficients to other zoning patterns the user should consult Dyer and Baier (1980) or Appendix B which gives the computer program for making these conversions. The program can also convert zonal distributions of other control parameters, such as water holding properties.

Dyer and Baier (1980) suggested that observed root patterns could be a basis for development of new sets of k-coefficients for different crops. A comparison of the VBIII with corn (maize) in a growth chamber was made by Dyer and Dwyer (1982). This study demonstrated the use of observed root distributions for deriving sets of k-coefficients which are applicable to a specific crop. Each k_j was related to the fraction of total root mass in each zone (j). Observed root distributions were also used to determine plant water uptake from each soil zone by De Jong and Shaykewich (1981). The growth chamber experiment (Dyer and Dwyer, 1980) also showed that coefficients representing root distributions from well watered conditions could also be adapted to dry conditions by using the adjustment procedure described in the next section.

Crop Coefficients Adjustment

In comparisons between observed and estimated soil moisture under non-irrigated crops, Baier (1969) found that during drought, plant roots absorbed comparatively more water from the lower, relatively moist layers than they did when the soil profile was uniformly moist. The effect of the k-coefficients for the upper zones, where water is no longer or less readily available, is decreased by giving more influence to the lower zones where water is still available. Thus the k-coefficient in each of the lower zones is increased as a function of the moisture content in the respective upper zones as follows:

$$k'_j = k_j + k_j \sum_{m=1}^{j-1} k_m \left(1 - \frac{S_m}{C_m}\right) \qquad (2)$$

where k'_j= adjusted k-coefficient for the jth zone (j=2,n)

S_m= available soil water in the mth zone

C_m= capacity for available water in the mth zone

The use of this adjustment and the date of its commencement are optional.

The sum of k-coefficients over depth (all zones) is greater than one for periods of the growing season with fully developed crop canopies. These sums change with crop stages. This reflects the changing consumptive use factor defined by Baier and Russelo (1968), as the ratio of water use by a well watered crop to a free water surface. Consumptive use factors account for increased response to PE as the crop canopy develops and leaf area index values increase. Under well watered conditions, in a fully developed canopy AE can exceed PE.

Soil Water Retention

The evaporative loss from each zone was related to water content and soil water retention characteristics of that zone. In the previous VB each soil type was characterized by a drying curve, incorporated into equation 1 by the Z coefficient. For the water balance of a single soil layer, Z can be expressed as the ratio of the relative daily evapotranspiration (AE/PE) to the relative available water content (S/C). At each specific relative available water content a new value of Z is required. The curves developed and used by Baier et al. (1979) to describe the relationships between AE/PE and S/C are shown in Figure 2.

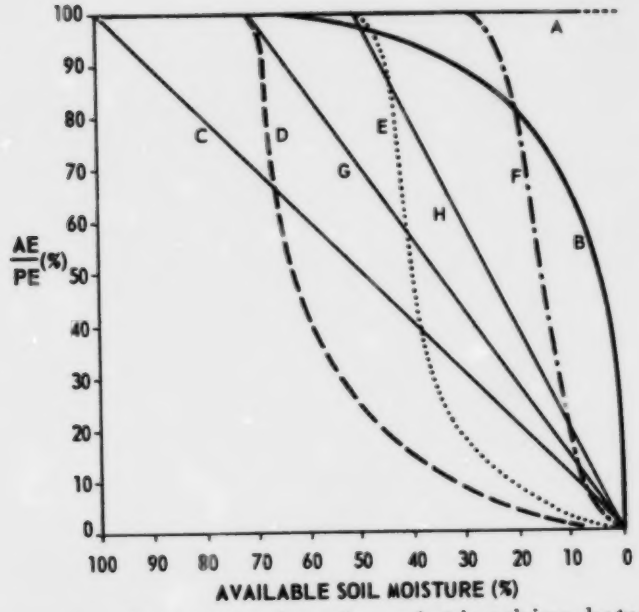


Figure 2. Proposals for the relationships between AE:PE ratio and available soil moisture (S/C).

Previously, sets of Z were read into the budget in tabular form, including one value for each of 100 possible S/C values. The so-called "z-tables" that correspond to curves in Figure 2, are listed in Appendix E. Each z-table is made up of Z values which correspond to 100 possible S/C values from 0 to 1. The z-tables had several disadvantages including a significant increase in the required control data and a restriction on the drying curves available. Therefore, an index for generalizing drying curves was developed. Derivation of this index has been shown elsewhere (Dyer and Baier, 1979a).

Typical drying curves, such as those in Figure 2, have the general characteristic of allowing evapotranspiration at the potential rate until some value of S/C, then having AE/PE decrease as a function of S/C. The decreasing portion of the curves can be described as concave upward, linear or convex downward. The general form of the index can generate all three classes of curves. The equation for the index is as follows:

$$Z = \left(\frac{X}{R}\right)^{hmn}\left[\left(\frac{X}{R}\right)^{m}\frac{n}{X} + \left(\frac{R-X}{R}\right)^{n}\frac{m}{R}\right] \qquad (3)$$

where $X = S/C$
and $X \leq R \leq 1$

Table 1. COMBINATION OF CONTROL PARAMETERS USED IN EQUATION 3 TO GENERATE DIFFERENT DRYING CURVES

Curves' shape	m	n	h	Curve number from Fig. 3a, b
Concave	1	1	0	(1)
Convex	1	1	1	(3)
Deeply convexed	1	1	2,3 or 4	(4, 5 and 6)
Linear	1	0	0	(2)
Potential	0	1	0	

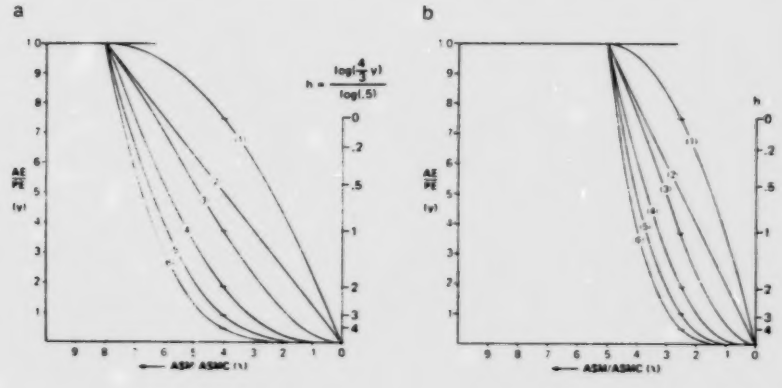


Figure 3: Drying curves derived from eq 3 for (a) R= 0.8 and (b) R= 0.5 and a function for h at X= 0.5 R.

To use the index the parameters m, n, h and R must be defined. The type of curve is controlled by m and n, each of which is either 0 or 1. The degree of downward curvature is controlled by h. The value of X where evapotranspiration changes from potential to a function of S/C, is equal to R. Examples of curves which can be generated are shown in Figure 3 for two values of R and five values of h (0 to 4). Table 1 gives the h, m and n which generate each type of curve.

The index can be more flexible by making the curvature parameter (h) non-integer. h can be defined as a logarithmic function of Y, X and R (where Y = AE/PE). The right hand axes of Figure 3 show the unique relationship between h and Y at X =0.5R. From these axes, and selected "halfway" values of X in the range corresponding to decreasing Y, estimates of h can be made. Thus approximate "curve fitting" of the index to an appropriate curve for a particular type of soil can be done. Curves similar to those shown in Figure 2 can be generated. When the index is used new z-tables are actually generated internally.

Along with this new index VBIII can still accomodate the z-tables used in the previous versions. Generally curves which resemble D or G in Figure 2 are best applied to high clay content soils, whereas curves such as E and H would be applied to medium textured soils and F to very coarse textured soils.

Alternate Drying Curves

Two z-tables can be read and used by the program at one time. This feature can be used in two ways: (1) in heterogeneous soils having two distinct textural horizons, one z-table can be applied to the upper zones and another to the lower zones. If a homogeneous soil is assumed, one z-table is used throughout all six zones. (2) The relationships in Figure 2 depend on whether an active root system is present, or the soil is fallow. Therefore, to simulate the soil moisture distribution in a crop-fallow rotation, one drying curve (or z-table) can be used in cropped years and another drying curve (or z-table) can be used in fallow years. The procedure for using these two options is described in Appendix C.

INFILTRATION AND DRAINAGE

A new submodel for infiltration and drainage is included in VBIII to allow the budget to be applied more effectively to excess water problems. The submodel is based on a simple two zone budget developed for estimating fall field work conditions (Dyer and Baier, 1979). The basic concept is that drainage of excess, or gravity water is not immediate but takes place over one or more days. An essential assumption is that each zone can be filled to its saturation content, rather than just to field capacity. The excess or gravity water, that is the range of water content between field capacity and saturation, is free to drain out of each zone. However, only a certain fraction is allowed to drain from a near-surface zone on any one day.

To simulate the persistance of excess water near the surface from day to day the sequence of drainage into or out of each zone is critical. In the two-zone budget (Dyer and Baier, 1979b) drainage out of both zones was done before rainfall or surface water was added to the top zone, causing a one-day delay in drainage out of zone 1. When more than two zones are used this same sequence is followed but the computations become more complex. The one day delay principle is maintained, by splitting the total number of zones into two drainage layers. The first drainage layer defines or includes the maximum depth that surface water can infiltrate in one day.

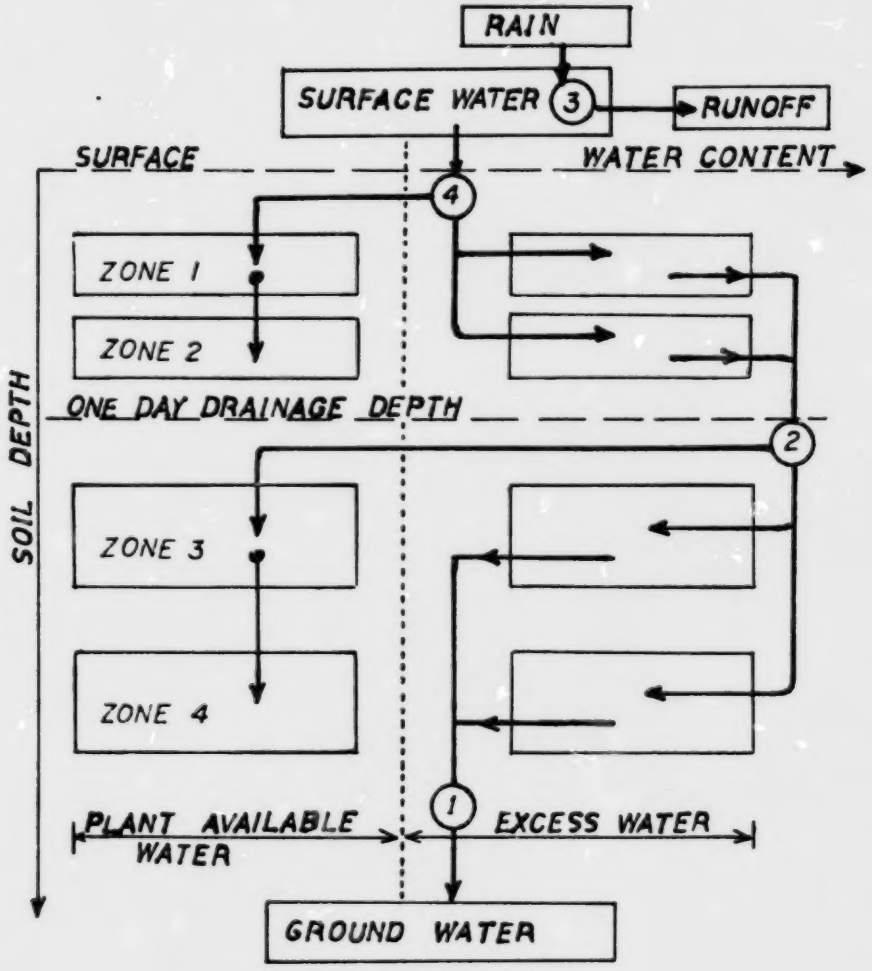


Figure 4. Assumed infiltration pathway for rain water through four layers of soil.

The computation steps in this submodel are illustrated in Figure 4 for a four-zone budget. These steps are: (1) drainage out of the bottom drainage layer, (2) drainage out of the upper drainage layer into the second drainage layer, (3) addition of precipitation to surface water and subtraction of surface runoff, and (4) drainage of surface water into the first drainage layer. This computational sequence ensures that surface water cannot enter or penetrate through the second drainage layer in one day.

Within each drainage layer the drainage water from above is added in three steps. First, excess water in any zone in the drainage layer is assumed capable of draining to the next drainage layer. Second, the plant available water deficits (below field capacity) are satisfied in sequence downward from the sum of excess water draining from above. Third, when there still remains excess water (more drainage water than required to satisfy the plant available water deficits in all zones in the layer) then this water is distributed evenly over the excess void spaces (field capacity to saturation) in all zones in the layer.

Drainage Rate Parameters

To operate the submodel and characterize drainage patterns of various types of soils several new control coefficients are required in VBIII. These include the saturation level water contents (or total void spaces per zone in mm), the number of zones in the upper drainage layer, a drainage rate coefficient and maximum amounts of drainage. The drainage rate defines the fraction of excess water in Drainage Layer 1 which can drain into Drainage Layer 2 during each day. This ensures that a small amount of excess water persists in Drainage Layer 1 until the next day.

Three coefficients control the maximum amount of water which can drain past three points in the profile (or levels) each day. These are the maximum water volumes which can infiltrate the surface (Drainage Layer 1), which can enter Drainage Layer 2 and which can drain out of the soil profile. These coefficients are in millimeters of water per day and can be considered as maximum daily water conductivities.

The depth of Drainage Layer 1 defines the maximum wetting front penetration from the surface in one day. Because the submodel is sensitive to the range between field capacity and saturation, the permanent wilting point of each zone is also required to distinguish field capacity from plant available water holding capacity. Soils can have similar plant available water holding capacities, but different field capacities, due to different permanent wilting points. This difference affects drainage patterns.

Although this submodel has not been tested against soil moisture observations, the two-zone version has proven successful in making estimates of days with surface soil conditons too wet to permit field work (Dyer and Baier, 1979b). The performance of the function was also assessed in a set of sensitivity tests not shown here, but which revealed that fine textured soils (higher clay and silt fractions), which are generally less permeable, are best simulated by shallow one-day drainage depths (20 cms) and low drainage coefficients (approximately 50%). For coarser textured soils one day drainage

depths of 40 to 60 cm are more realistic (assuming 120 cm total depth) and a drainage coefficient of 80 or 90%. The original two-zone application of this function (Dyer and Baier, 1979b) used 80%. The function is also sensitive to the range between field capacity and saturation, particularly for relatively high field capacity. Users should be aware that this new submodel is still experimental.

SNOW BUDGET

In some applications in temperate climates it is necessary to calculate a daily soil moisture content throughout the year, particularly when a reasonable estimate in spring is required as a starting point for the water budgeting during the growing season. In climates where snow occurs, the computation of soil moisture requires the amount of water penetrating the soil from snow. Therefore, a simple snow budget was developed in the previous version (Baier et al., 1979). The snow budget used here is little different from the previous version, but control parameters have been modified.

The inputs required for the snow budget are the daily maximum temperature and the precipitation total. Because the form of precipitation is not defined in the daily weather data used here, part of the snow submodel is dedicated to determining the precipitation form. Snow is not assumed unless the smoothed daily maximum temperature (Amax) is below a selected threshold value. The 5-day binomial smoothing function used in the previous budget was replaced by a 3-day function.

$$Amax_i = (3Tmax_i + 2Tmax_{i-1} + Tmax_{i-2})/6 \qquad (4)$$

where i = day and Tmax = daily maximum temperature

This change means that temperatures for the two days following the date of calculations are not required input, as they were in the previous version.

In fall and early winter (July 1 to December 31), precipitation is assumed to be in the form of snow if Amax < threshold 1. Snow is then accumulated on the soil surface until Amax $\geq$ threshold 1, when the melted snow is taken into the soil. In late winter and spring (January 1 to June 30) precipitation is assumed to occur as snow if Amax < threshold 2 and it is then accumulated on the surface. Temperature thresholds for Canada were determined by using various thresholds in repeated computer runs to compare estimated with observed snowfall. It was found that precipitation can be expected to occur as snow when the daily maximum temperature is below the thresholds in Table 2. It was also found in developing this submodel, that snow was more likely in colder, less humid climates in the same ambient temperature range. This is reflected by the higher thresholds for colder climates in Table 2.

TABLE 2: MAXIMUM TEMPERATURE THRESHOLDS FOR SNOW

Region	Threshold 1	Threshold 2
	July - Dec.	Jan. - June
COLD Central B.C., Prairies	5°C	7°C
WARM Southern B.C., Ontario, Quebec, Atlantic Provinces	1°C	2°C

The incidence of snowfall with the higher surface temperatures in spring reflects the seasonal difference in lapse rates. In spring, when the ratio of incoming solar to outgoing terrestrial radiation is usually higher than in fall, the lapse rates are steeper and conditions are less stable. Thus the chances of precipitation reaching the surface as snow rather than as rain are increased. This is reflected by using higher temperature thresholds for spring which designates precipitation to be snow more often. In Western Canada threshold values are higher because a larger proportion of precipitation occurs as snow, due to relatively more surface heating and less stable air masses.

Snowfall is also restricted to a period between specified dates in fall and spring. These two dates are required input control parameters.

Snowpack Losses

Only a fraction of the measured snowfall actually enters the soil after snowmelt, because a large proportion of the snow blows away, evaporates, or when melted, runs off as surface-water. The snowpack is also decreased daily by an amount equal to PE. To describe the snow remaining after blow-off, a snow coefficient was defined. The two most commonly used snow coefficients are 0.7 for stubble-covered fields and 0.5 for fallow fields. These values, which indicate the fraction of snow remaining after blow-off, were developed in repeated computer runs in which the snow coefficients were changed until the estimates were closest to the available soil moisture measurements in spring. In areas where blowing snow is not as serious a problem higher values can be used.

Provision is made for an alternate snow coefficient to be used if soil surface conditons change from one year to another. This situation occurs in a crop fallow system that has stubble during the first winter and is bare during the second winter. If the crop development stage on July 1 is past the preemergence-fallow stage, then a crop is assumed during that year and the first snow coefficient is used. Otherwise a fallow state is assumed and the second coefficient is used. July 1 was selected as the middle of the growing season for the northern hemisphere. In VBIII July 1 can be replaced with a date selected by the user. This feature is designed to allow a change in the snow accumulation rate in midwinter.

The choice of coefficients usually depends on the ground cover during winter and on the growth stage. When growth (or a ground cover) is assumed, the first coefficient is used. In some cases, such as a perennial crop, there may be no growth but a ground cover could still be present in winter; thus both coefficients would be 0.7. In cases where fall tillage is practiced there would be summer growth but no ground cover in winter, and both coefficients would be 0.5. Even though this system was first developed for wheat-fallow rotation it can be adapted to many cropping practices.

Snowmelt Infiltration

The factors considered for the contribution of snow to soil moisture are the rate of snowmelt, the retention of meltwater within the snowpack and the rate of penetration of meltwater into frozen or partially thawed soil. The rate at which snow melts is correlated with both the air temperature and the time of year. A set of four snowmelt curves was defined (McKay 1964) for four temperature intervals; 0-2.8, 2.8-5.6, 5.6-8.3, and above 8.3(^{o}C).

Previously, empirical constants for each month and for each of the four temperature intervals were required input control data to calculate daily snow melt. In VBIII, temperature dependent, monthly snowmelt values were calculated externally and stored as internal data. So the McKay equation (1964) used in the previous version does not appear in the VBIII program. Early and late in each month melt rates are averaged with the previous and the following months, respectively. This smoothing was required since daily snow melt values are no longer calculated or stored.

The melt term has the restriction that it cannot exceed the total moisture available in the snowpack. The snowpack is considered capable of retaining 15% of its volume as meltwater. The amount of melt must exceed this threshold before any moisture is presumed to reach the soil. Whenever the maximum daily temperature is less than 0°C, the portion of melt retained in the pack is considered once again to be part of the snowpack. All melt which reaches the soil is considered to enter it by the normal infiltration process. The first day after the designated date in fall that Amax < the threshold is considered to be the beginning of the winter budget. If the maximum temperature is less than -6.7°C, the previous snowmelt is considered frozen in the upper layers of the soil, thus affecting penetration and runoff of future snowmelt. In VBIII the reduced rate of meltwater infiltration is related to the fraction of unfilled excess void space in the top (one-day) drainage depth. The drainage rate is assumed to be retarded by freezing. This is simulated in VBIII by reducing the drainage rate coefficient.

FIELD PERFORMANCE APPRAISAL

The performance of VBIII was assessed against soil moisture observations taken under alfalfa on a number of soils over three years (1966 to 1968) in South Western Ontario. These data were compiled by Selirio et al. (1978) at the University of Guelph. Three sites were selected, representing three different soil textures. The model was run with data from nearby weather sites. These sites were Delhi, Woodstock and Kolher representing Fox Loamy Sand, Embro silt Loam and Haldimand Clay, respectively. The model was initialized on the day of the first observation with starting soil moisture contents equal the first set of observations. The zones used in the budget were equal to the six observation layers. The root (k) coefficients given by Baier et al. (1979) for alfalfa (Appendix E) were adapted to the zones used here by the technique described by Dyer and Baier (1980).

The maximum possible water content (mm) or saturation level (Sat) in each zone was calculated from measured bulk density (bd) and grain density (gd) as follows:

$$Sat = \frac{gd - bd}{gd} \times (\text{zone thickness}) \qquad (5)$$

Field capacity and the permanent wilting point for each zone were based on measurements taken at the sites. Field capacities, permanent wilting points and bulk densities, along with soil texture and daily moisture observations, were presented by Selirio et al. (1978). Permanent wilting points, field capacities and saturation levels used here are presented in Table 3. The parameters used in equation 3 to generate drying curves are also given in Table 3. Water holding properties and k-coefficients were converted to depth of observation basis by the program in Appendix B.

TABLE 3: Water holding properties used to compare VBIII estimates to observations of soil moisture contents from three sites

Zones	1	2	3	4	5	6
Depth[1] (cm)	15.0	30.0	46.0	61.0	91.0	152.0
Permanent Wilting Point (mm)						
Fox Loamy Sand	5.1	6.6	4.4	6.8	13.9	19.7
Embro Silt Loam	11.0	12.0	13.0	14.0	40.0	60.0
Haldimand Clay	12.5	19.5	21.0	21.5	45.0	88.7
Field Capacity (mm)						
Fox Loamy Sand	12.7	16.4	9.7	12.7	26.1	50.4
Embro Silt Loam	42.0	35.9	42.2	44.3	97.4	175.8
Haldimand Clay	42.4	44.5	47.1	45.0	93.0	180.5
Saturation (mm)						
Fox Loamy Sand	41.8	54.1	37.2	90.3	194.3	348.1
Embro Silt Loam	59.4	65.0	63.4	65.2	100.6	343.4
Haldimand Clay	90.0	76.3	82.0	70.2	139.5	259.4

Drying Curve (z) Parameters

	m	n	h	R
Fox Loamy Sand	1	1	1.0	.5[2]
Embro Silt Loam	1	1	0.2	.7
Haldimand Clay	1	1	1.0	.6

[1] To the bottom of each zone

[2] Changed to .6 in zone 6

RESULTS

The comparisons shown in Figures 5 to 7, give estimates of soil moisture content vs observations taken as close as possible to the end of each growth stage. Only the top three soil zones are shown, representing a depth of 45 cm since there was very little variation below the third zone. These comparisons are considered as only a demonstration because the accuracy of VBIII was hampered by a number of limitations in the observations used. Therefore, only a limited number of comparisons are shown and no statistical tests were made. They are presented here so that users can appreciate the performance to be expected of VBIII.

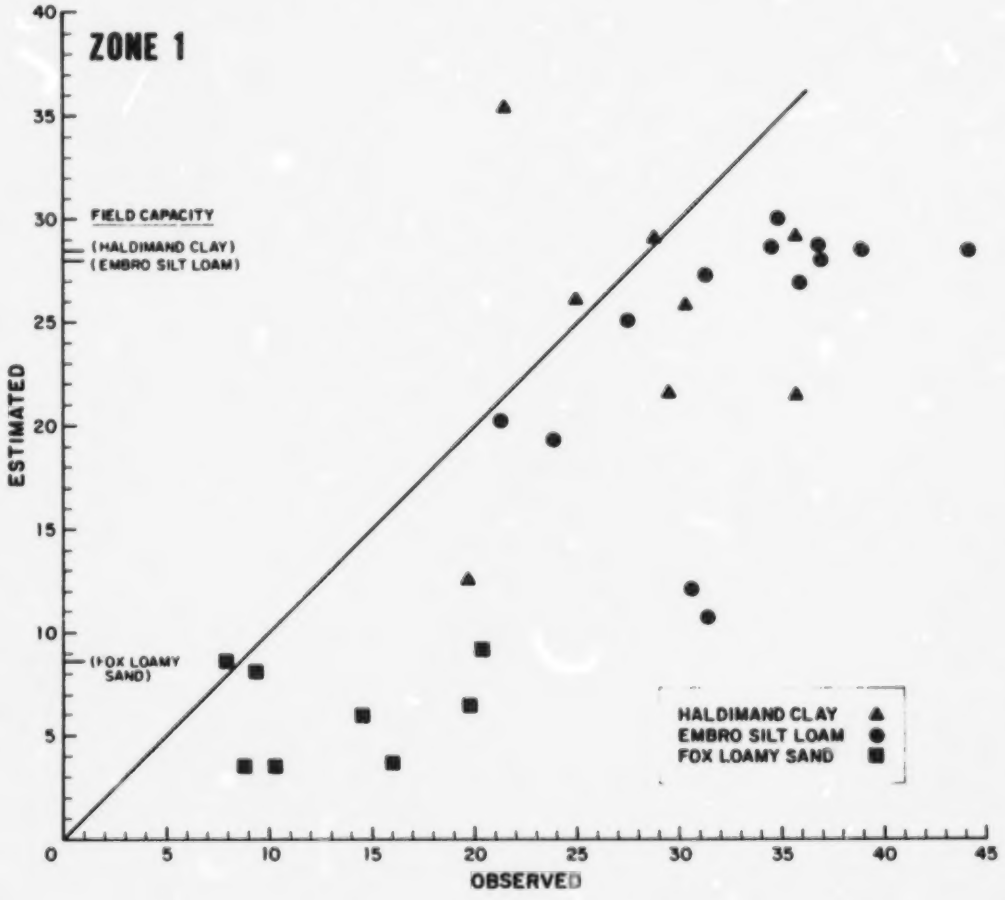


Figure 5. Comparison of estimated and observed soil moisture contents (% volumetric) in the top 15 cm at three sites.

The primary limitation was the use of weather data from weather sites which were several km away from the soil moisture observation sites. Both the levels and the occurrence of rain were known to be quite different, since Selirio et al. (1978) did present some rainfall records at each site. These differences largely account for the scatter of comparisons in the top zones (Figure 5).

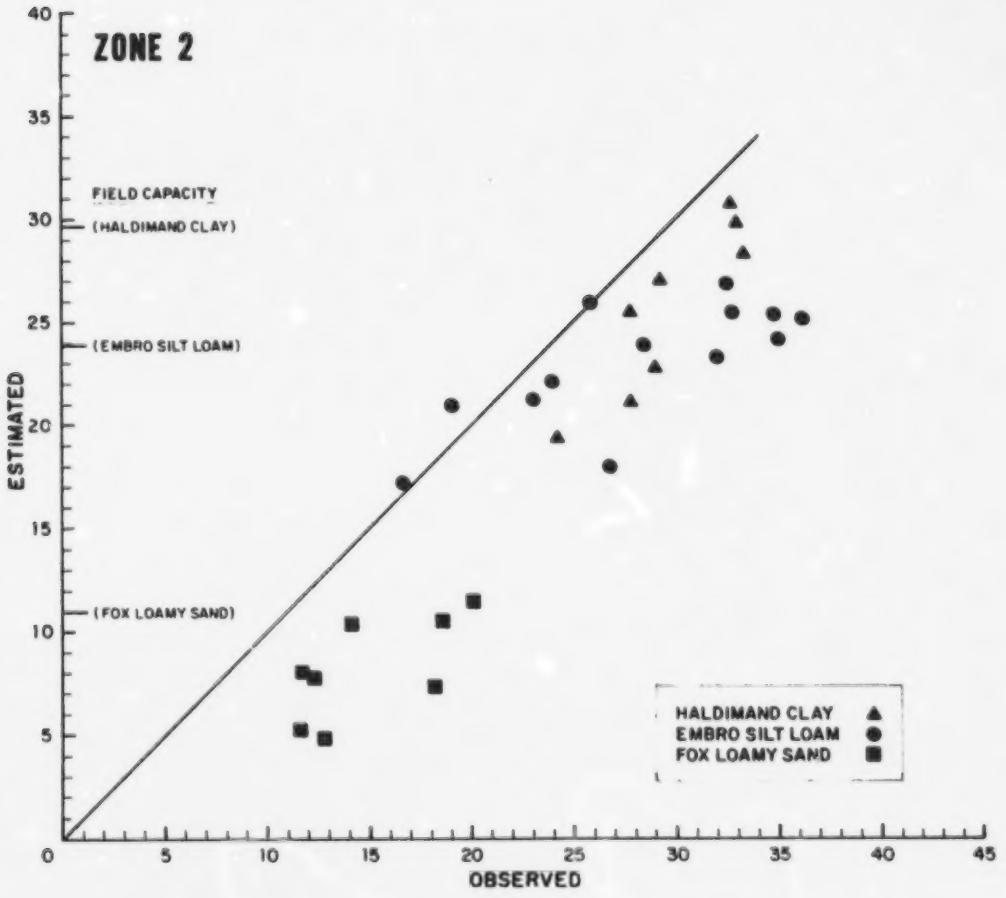


Figure 6. Comparison of estimated and observed soil moisture contents (% volumetric) in 16 to 30 cm layer of soil at three sites.

The VBIII estimates were also restricted by the use of measured soil water retention characteristics, listed in Table 3, which appear to be incompatible with the soil water content observations. For instance, the range of observed water contents is consistently higher than the observed range from permanent wilting point to field capacity even during periods without heavy rain. Most estimates fall well within the field capacity to permanent wilting point range. This caused the comparisons to be below the one to one line in all three zones (Figures 5 to 7).

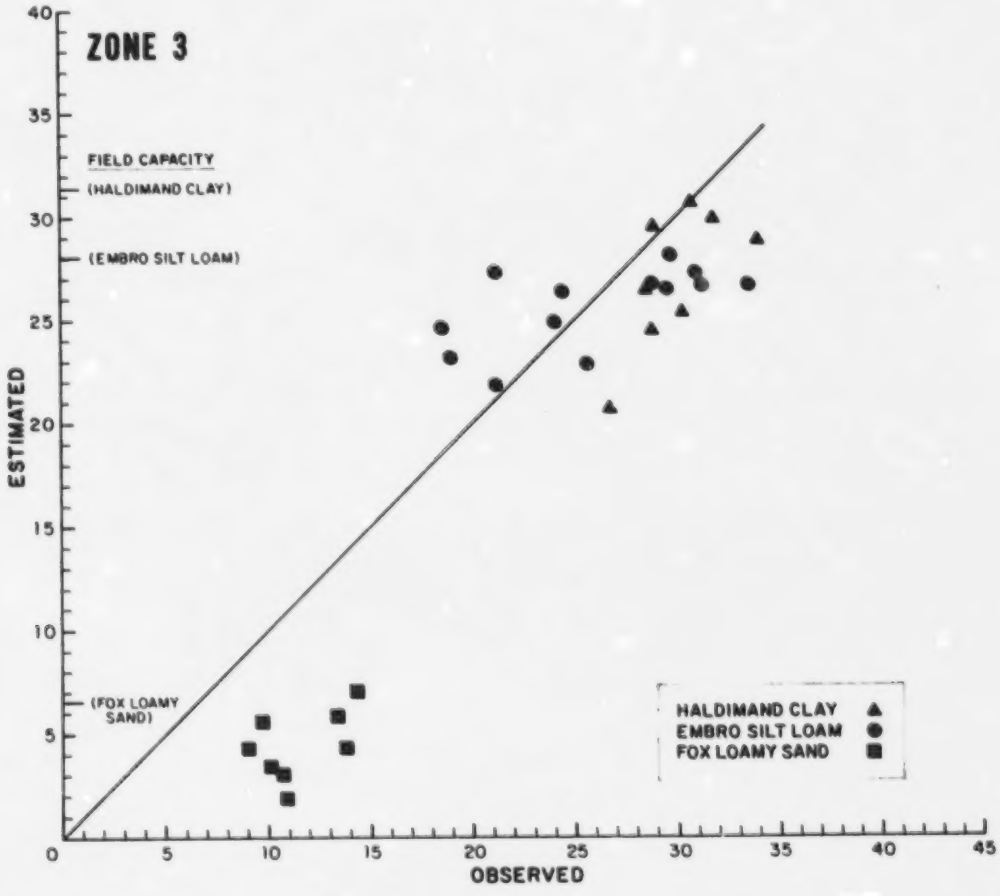


Figure 7: Comparison of estimated and observed soil moisture contents (% volumetric) in 31 to 46 cm layer of soil at three sites.

In spite of these shortcomings, there does appear to be reasonable correspondence between observations and estimates. The differences due to soil type are realistic. The rate of decrease in estimated water contents with time is also similar to observed decreases. The best fit appears to be in zone 3 in the two finer textured soils.

In the previous version of the VB (Baier et al., 1979) the results of a number of field validation trials showed that the VB performs acceptably well under semi-arid climates in water deficit conditions. It was not felt to be necessary to present these results again here.

SUMMARY

The soil moisture budgeting concept has been an important part of modelling and predicting soil water use by plants. The popularity of this concept is increasing. Soil water and crop yield predicting schemes, based on budgets are becoming more widely accepted and used. As the number of applications increase, the need for improvements in flexibility and applicability will also increase. A good example is the application to excess water problems. Restricting drainage rates in the lower zones to simulate water table effects, such as done by De Jong and Shaykewich (1981), could be a valuable expansion of the excess near-surface water submodel described here. There is a broader range of crops that require estimates of soil water use than when the original VB was designed. A soil surface evaporation term which is separate from root extraction, such as was suggested by Dyer and Dwyer (1982), could enhance the derivation of new root coefficients. There is also a need for budgets which are simpler. Often fewer soil zones are required and one or more sub-models, such as the snow-budget, can be ignored.

It is felt that the version of the Versatile Budget described here will provide much of the flexibility needed in some of the new applications. These applications can provide additional opportunities for comparison with field observations. In making the technical detail of VBIII available, the use and appraisal by other researchers is hoped for.

REFERENCES

Baier, W. 1969. Observed and estimated seasonal soil water variations under nonirrigated sod. Can J. Soil Sci. 49:181-188.

Baier, W., and G.W. Robertson. 1966. A new versatile soil moisture budget. Can J. Plant Sci. 46:299-315.

Baier, W. and G.W. Robertson, 1965. Estimation of latent evaporation from simple weather observations. Can J. Plant Sci. 45:276-284.

Baier, W., and D.A. Russelo. 1968. A computer program for estimating risks of irrigation requirements from climatic data. Tech. Bull. 59, Agrometeorol. Sect., Plant Res. Inst., Agric. Can., Ottawa, 48pp.

Baier, W., D.Z. Chaput, D.A. Russelo, and W.R. Sharp, 1972. Soil moisture estimator program system. Tech. Bull. 78, Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 35pp.

Baier, W., J.A. Dyer, and W.R. Sharp. 1979. The versatile soil moisture budget. Tech. Bull. 87, Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 52pp.

De Jong, R. and C.F. Shaykewich. 1981. A soil water budget model with a nearly impermeable layer. Can. J. Soil Sci. 61:361-371.

De Jong, R. 1981. Soil water models a review. Land Resource Research Institute. Agriculture Canada. Contribution No. 123. 39pp.

Dyer, J.A. 1980. Fall field workdays in Canada. Tech. Bull. 92, Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario. 59pp.

Dyer, J.A., and W. Baier, 1980. The influence of zones in budgeting plant available soil moisture. Can. Agric. Eng. 22:65-70.

Dyer, J.A., and W. Baier. 1979a. An index for soil moisture drying patterns. Can. Agric. Eng. 21:117-118.

Dyer, J.A., and W. Baier. 1979b. Weather-based estimation of field workdays in fall. Can. Agric. Eng. 21:119-222.

Dyer, J.A., and L.M. Dwyer. 1982. Root extraction coefficients for soil moisture budgeting derived from measured root densities. Can. Agric. Eng. 24(2):81-86.

Dyer, J.A., W. Baier, H.N. Hayhoe, and G. Fisher. 1978. Spring field workday probabilities for selected sites across Canada. Tech. Bull. 86. Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 93pp.

Edey, S.N. 1980. SMEP - an approach to areal assessment of soil moisture reserves in the prairie provinces. Canada Agriculture. 25(2):26-29.

Holmes, R.M., and G.W. Robertson. 1959. A modulated soil moisture budget. Mon. Weather Rev. 87:101-106.

McKay, G.A. 1964. Relationships between snow survey and climatological measurements for the Canadian Great Plains: prepared for the Western Snow Conference, Nelson, B.C. 19pp.

Selirio, I.S. and D.M. Brown. 1979. Soil moisture-based simulation of forage yield. Agric. Meteorology. 20:99-114.

Selirio, I.S., D.M. Brown and K.M. King. 1978. Soil moisture observations in Southern Ontario, 1966-1968. Univ. of Guelph, Ontario Agricultural College, Dept. Land Resource Sci., Tech. Memo. 78-2. 44pp.

Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather. 1955. The water balance. Climtology VIII(1): Drexel Inst. of Technol., N.J. 104pp.

APPENDIX A
VB III Program

The following is a listing of the computer program for VBIII. This program is a revision of the previous Versatile Budget program and is not a new program. As a result its design, structure and many of its variable names are unchanged. Also unchanged is the way in which the program is set up to read and write metric units. A flowchart (Figure A-1) is provided to assist the user in interpreting the computational sequence and restart options of this version.

Variable names used in the main text to discuss the principle algorithms are not the same as those used in the Fortran program. For discussion purposes simple, one-character variable names are generally more convenient and easy to follow than Fortran code names, which often use four or more characters. Whenever possible, variable names in the text were chosen to be consistent with the most relevant references to previous work. The following table provides a conversion of variable names from the main text to the program code names.

The authors are aware that this program itself is in need of streamlining. The intent of providing this version is to make available an experimental version of VB, so that other researchers would be able to use and assess the most recent additions. Input and output still require considerable effort by the user. But I/O formats, remain as much as possible, similar to the I/O format of the previous version (Baier et al., 1979). More details on input and output format are given in Appendices C and D, respectively.

TABLE A-1. The program variable names which correspond to symbols and terms used in the main text

SYMBOLS AND TERMS	VARIABLE NAMES
AE	SUMDEL
PE	PE OPE
k	COF, COEFS
Z	WORK, TABLE 1, 2
S	CONTNT
C	CAPAC
j	I
m	M9
n	N9
h	H9
R	R9
X	X9, DEL
Amax	MAXSM
Tmax	MAX, PAX
SNOWMELT	DD, AQ
RAIN	PRECIP, PCP
RUNOFF	RUNOFF
SURFACE WATER	PDL
GROUND WATER	AYE, EXTD
Deficit	X

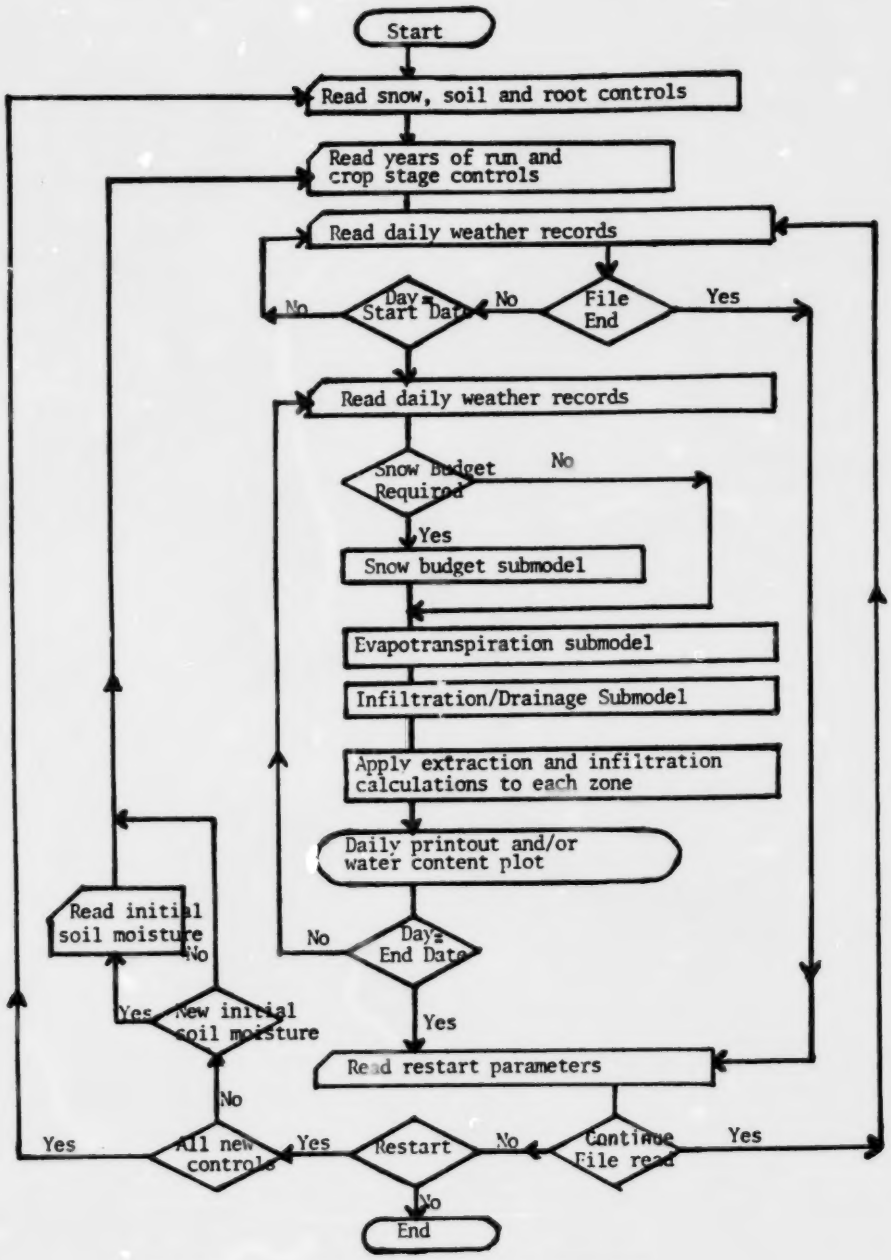


FIGURE A-1. VBIII PROGRAM FLOWCHART.

```
C
C
C     CPVB3 - REVISED 8208    - DYER
C
C     AG507.CPD.PROGRAM.CPVB3
C
C
      DIMENSION PRCNT(6),IPLOT(6),LPLOT(100)
      DIMENSION TABLE1(100),TABLE2(100),D(3),CONTNT(6),COEFS(5,6),X(6)
      DIMENSION IDATES(65),IDENT(5),IDATE(5),PCP(5),PE(5),MAX(5),MIN(5)
      DIMENSION COF(5),DELTA(6),CAPAC(6),CONRST(6)
      DIMENSION EXCAP(6),EXCSW(6),DRN(6),PRMWLT(6),OBDPTH(6)
      DIMENSION HEAD(15),MEAN(5),SMCOF(2),AO(4,14)
      DATA A1,E1,D1,H1,P2,R2,W1/0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0/
      DATA RUNOFF/0.0/
      DATA AO/0.00,0.04,0.20,0.32,0.00,0.00,0.12,0.23,0.00,0.04,0.22,0.3
     19,0.00,0.30,0.62,0.91,0.22,0.67,1.16,1.59,0.42,0.84,1.38,1.88,0.21
     2,0.42,0.69,0.94,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.03,0.13,
     30.21,0.32,0.36,0.27,0.42,0.65,0.01,0.18,0.34,0.53,0.00,0.04,0.20,0
     4.32,0.00,0.00,0.12,0.23/
C
C      DEFINE CONTROL COEFFICIENTS
C
C     NPLE,ISRN,      RESTART PARAMETERS-BLANK ON 1ST CARD
C     NP,INT,TP       I/O UNITS-DAILY PRINT,WEATHER IN,S.M.PLOT
C     ISFL            BEGINNING DATE OF WINTER(SNOW) BUDGET
C     IESG            ENDING DATE OF WINTER BUDGET
C     IFTP            RAIN/SNOW THRESHOLD TEMPERATURE-FALL
C     ISTP                                           -SPRING
C     KSNO            SNOW BLOW CHANGE DATE
C     SMCOF           % SNOWFALL AFTER WIND BLOWING(SNOW COEFFICIENT)
C     AO              SNOWMELT RATE TABLE
C     DAYSM           DAYS PER MONTH
C     DP(XX)          DAILY SNOWMELT
C     G9,W9,H9,R9     DRYING CURVE INDEX PARAMETERS
C     KJTROL          ZONES USING 1ST Z-TABLE
C     TABLE1          1ST Z-TABLE (DRYING CURVE)
C     TABLE2          2ND Z-TABLE
C     K               Z-TABLE READ/WRITE CONTROL
C     CAPAC           AVAILABLE WATER CAPACITY OF EACH ZONE
C     CONTNT(CONRST)  AVAILABLE WATER IN EACH ZONE AT START
C     MRST1,2         MOISTURE RE-INITIIALIZE PARAMETERS
C     EXCAP           TOTAL VOID SPACE OF EACH ZONE
C     IRP             SURFACE WATER AFTER FIRST DAY
C     SSLP            SLOPE/RUNOFF COEFFICIENT
C     DRN             DRAINAGE RATE AND LIMITS
C     IFRNT           NUMBER OF ZONES WETTED FIRST DAY AFTER RAIN
C     PRMWLT          PERMANENT WILTING POINT
C     OBDPTH          BOTTOM DEPTH OF EACH ZONE(CMS)
C     SCL             PLOT SCALING FACTOR
C     IHOR            HORIZONTAL FACTOR
C     IZNS            TOTAL NUMBER OF ZONES
C     COEFS           K-COEFFICIENTS(ROOTS)
```

```
C     ISTGES          TOTAL NUMBER OF CROP DEVELOPMENT STAGES                  00000570
CC    NEW             CROP STAGE FOR K-ADJUSTMENT START                        00000580
CC    ISYR            STARTING YEAR                                            00000590
CC    NDYR            LAST YEAR OF RUN                                         00000600
CC    NSY             CROP STAGES PER YEAR                                     00000610
CC    IDATES          CROP DEVELOPMENT STAGE DATES                             00000620
CC    IRTN            NUMBER OF YEARS IN ROTATION                              00000630
CC                                                                             00000640
CC      READING AND WRITING OF TITLE CARD AND SNOT CONTROL                     00000650
C                                                                              00000660
        READ(1,987) NFLE,ISEA,NP,INT,IP,HEAD                                  00000670
        WRITE(3,987)NFLE,ISEA,NP,INT,IP,HEAD                                  00000680
  987 FORMAT(513,14A4,A1)                                                      00000690
 9997 CONTINUE                                                                 00000700
C                                                                              00000710
CC    INPUT SNOW BUDGET CONTROLS                                               00000720
C                                                                              00000730
        READ(1,3003) ISEL,IESG,IFIP,ISIP,SMCOF,NOSNO,KSNO                     00000740
        WRITE(3,3003)ISEL,IESG,IFIP,ISIP,SMCOF,NOSNO,KSNO                     00000750
 3003 FORMAT(416,6X,2F10.5,215)                                                00000760
        IF((SMCOF(1)+SMCOF(2)).LE.0.0) NOSNO=1                                 00000770
C                                                                              00000780
CC      READING AND WRITING OF SOIL CHARACTARISTIC TABLES                      00000790
C                                                                              00000800
 2070 FORMAT(213,2F10.5,215)                                                   00000810
        READ(1,2070) M9,N9,H9,R9,K,KNTROL                                      00000820
        WRITE(3,2070)M9,N9,H9,R9,K,KNTROL                                      00000830
        IF(KNTROL.LE.0) KNTROL=6                                               00000840
        IF(M9.GT.1) M9=1                                                       00000850
        IF(N9.GT.1) N9=1                                                       00000860
        IF(M9.GT.0.OR.N9.GT.0) GO TO 2100                                      00000870
        READ(1,9)TABLE1                                                        00000880
    9 FORMAT(10F5.2)                                                           00000890
        GO TO 2090                                                             00000900
 2100 CONTINUE                                                                 00000910
        M=M9                                                                   00000920
        DO 2080 I=1,100                                                        00000930
        X9=I*0.01                                                              00000940
        N=N9                                                                   00000950
        IF(X9.GT.R9) M=0                                                       00000960
        IF(X9.GT.R9) N=1                                                       00000970
        Z=(((X9/R9)**M)*N/X9)+((((R9-X9)/R9)**N)*M/R9)                         00000980
        Z=((X9/R9)**(M*N*R9))*Z                                                00000990
        TABLE1(I)=Z                                                            00001000
 2080 CONTINUE                                                                 00001010
 2090 CONTINUE                                                                 00001020
        IF(K.LT.1) GO TO 2092                                                  00001030
        WRITE(3,9)TABLE1                                                       00001040
 2092 CONTINUE                                                                 00001050
C                                                                              00001060
        READ(1,2070) M9,N9,H9,R9,K                                             00001070
        WRITE(3,2070)M9,N9,H9,R9,K                                             00001080
        IF(M9.GT.1) M9=1                                                       00001090
```

```
      IF(R9.GT.1) N9=1
      IF(R9.GT.0.OR.N9.GT.0) GO TO 2101
      READ(1,9)TABLE2
      GO TO 2091
 2101 CONTINUE
      N=N9
      DO 2081 I=1,100
      X9=I*0.01
      M=M9
      IF(X9.GT.R9) M=0
      IF(X9.GT.R9) N=1
      Z=(((X9/R9)**M)*M/X9)+((((R9-X9)/R9)**N)*M/R9)
      Z=((X9/R9)**(M*N*H9))*Z
      TABLE2(I)=Z
 2081 CONTINUE
 2091 CONTINUE
      IF(K.LT.1) GO TO 2093
      WRITE(3,9)TABLE2
 2093 CONTINUE
C
C       READING AND WRITING THE ZONAL CONTENTS AND CAPACITIES
C
      READ(1,502) CAPAC
      WRITE(3,502)CAPAC
  502 FORMAT(6F5.1,5X,2F5.1,I5,10X,2I5)
      IZNS=6
 1210 CONTINUE
      IF(CAPAC(IZNS).GT.0.0) GO TO 1220
      IF(IZNS.LE.2) GO TO 1220
      IZNS=IZNS-1
      GO TO 1210
 1220 CONTINUE
      READ(1,502) CONTNT,SMSTR,PESTR,MRSTI,IDRN,NDRN
      WRITE(3,502)CONTNT,SMSTR,PESTR,MRSTI,IDRN,NDRN
      IOUT=0
C
C       READING AND WRITING SATURATION,DRAINAGE FACTORS ,
C       PERMANENT WILTING POINT AND ZONE DEPTHS(CMS).
C
      READ(1,2399) EXCAP,TRP,SSLP,DRN,IFRNT
      WRITE(3,2399)EXCAP,TRP,SSLP,DRN,IFRNT
 2399 FORMAT(14F5.1,I2)
      SSLP=SSLP*.01
      TRP=TRP/25.4
      READ(1,2388) PRMWLT,ZDEPTH,SCL,IHOR
      WRITE(3,2388)PRMWLT,ZDEPTH,SCL,IHOR
 2388 FORMAT(6F5.1,5X,6F5.1,F5.2,I2)
      IHOR=IHOR-1
      DO 2389 I=1,IZNS
      IF(PRMWLT(I).GT.(CAPAC(I)*.95)) PRMWLT(I)=.95*CAPAC(I)
      CAPAC(I)=CAPAC(I)-PRMWLT(I)
      IF(EXCAP(I).LT.CONTNT(I)) EXCAP(I)=CONTNT(I)
      CONTNT(I)=CONTNT(I)-PRMWLT(I)
```

```
0092                EXCAP(I)=EXCAP(I)-(CAPAC(I)+PRMRLT(I))                                  00001630
0093                IF(EXCAP(I).LT.0.0) EXCAP(I)=0.0                                        00001640
0094          2389  CONTINUE                                                                00001650
0095                EXFRNT=EXCAP(1)                                                         00001660
0096                EXTOTL=EXCAP(1)                                                         00001670
0097                DO 2386 I=2,12NS                                                        00001680
0098                IF(I.LE.IFRN1) EXFRN1=EXFRN1+EXCAP(I)                                   00001690
0099                EXTOTL=EXTOTL+EXCAP(I)                                                  00001700
0100          2386  CONTINUE                                                                00001710
0101                IF(EXTOTL.GT.0.0) GO TO 2378                                            00001720
0102                IFRN1=12NS                                                              00001730
0103                DO 2377 I=1,12NS                                                        00001740
0104          2377  EXCAP(I)=CAPAC(1)*2.0                                                   00001750
0105          2378  CONTINUE                                                                00001760
0106                IF(DRN(1).LE.0.0) DRN(1)=EXFRNT                                         00001770
0107                IF(DRN(2).LE.0.0) DRN(2)=DRN(1)                                         00001780
0108                IF(DRN(3).LE.0.0) DRN(3)=DRN(2)                                         00001790
0109                DRS=DRN(4)*.01                                                          00001800
0110                IF(DRS.GT.1.0) DRS=1.0                                                  00001810
0111                IF(DRS.LT.0.2) DRS=0.2                                                  00001820
0112                DRN(2)=DRN(2)/DRS                                                       00001830
0113                DEFCIT=0.0                                                              00001840
0114                SYE=0.0                                                                 00001850
0115                DO 2396 I=1,12NS                                                        00001860
0116                EXCSW(I)=0.0                                                            00001870
0117                IF(CONTNT(I).GT.CAPAC(I)) EXCSW(I)=CONTNT(I)-CAPAC(I)                   00001880
0118                IF(CONTNT(I).GT.CAPAC(I)) CONTNT(I)=CAPAC(I)                            00001890
0119                IF(EXCSW(I).GT.EXCAP(I)) EXCSW(I)=EXCAP(I)                              00001900
0120          2396  CONTINUE                                                                00001910
0121                RDL=0.0                                                                 00001920
0122                DO 601 I=1,12NS                                                         00001930
0123                CAPAC(I)=CAPAC(I)/25.4                                                  00001940
0124                PRMRLT(I)=PRMRLT(I)/25.4                                                00001950
0125                UBDPTH(I)=UBDPTH(I)/2.54                                                00001960
0126                EXCAP(I)=EXCAP(I)/25.4                                                  00001970
0127                EXCSW(I)=EXCSW(I)/25.4                                                  00001980
0128           601  CONTNT(I)=CONTNT(I)/25.4                                                00001990
0129                FTP=IFTP                                                                00002000
0130                IFTP=32.+(FTP*9./5.)+.5                                                 00002010
0131                STP=ISTP                                                                00002020
0132                ISTP=32.+(STP*9./5.)+.5                                                 00002030
0133                DO 15 I=1,6                                                             00002040
0134                COF(I)=0.0                                                              00002050
0135                DRN(I)=DRN(I)/25.4                                                      00002060
0136             15 X(I)=0.                                                                 00002070
0137                SNOWCF=SMCOF(1)                                                         00002080
0138                SPCOFF=SNOWCF                                                           00002090
                C                                                                         00002100
                CC      READING AND WRITING OF ZONAL COEFS, FOR THE RUN                   00002110
                C                                                                         00002120
0139                READ(1,2) ((COEFS(I,J),J=1,6),I=1,5)                                  00002130
0140                WRITE(3,2)((COEFS(I,J),J=1,6),I=1,5)                                  00002140
0141             2 FORMAT(5F5.2)                                                          00002150
```

```
0142          DO 3140 I=1,IZNS                                              00002160
0143     3140 CONRST(I)=CONTNT(I)                                           00002170
0144     3190 CONTINUE                                                      00002180
     C                                                                      00002190
     C        READING AND WRITING OF RUN CHARACTARISTICS                    00002200
     C                                                                      00002210
0145          READ(1,8) ISIGES,NEW,ISYR,NDYR,NSY                            00002220
0146          WRITE(3,8)ISIGES,NEW,ISYR,NDYR,NSY                            00002230
0147        8 FORMAT(2I4,8X,3I4)                                            00002240
0148          IF((ISIGES+ISYR+NDYR+NSY).LT.1) GO TO 252                     00002250
0149          NODATE=ISIGES+1                                               00002260
     C                                                                      00002270
     C        READING AND WRITING THE CONTROL DATES FOR THE RUN             00002280
     C                                                                      00002290
0150          READ(1,3) (IDATES(I),I=1,NODATE)                              00002300
0151          WRITE(3,6)(IDATES(I),I=1,NODATE)                              00002310
0152        6 FORMAT(1X,12I6)                                               00002320
0153        3 FORMAT(12I6)                                                  00002330
     C                                                                      00002340
     C                                                                      00002440
0154          ISC=1                                                         00002450
0155          KOUNT=1                                                       00002460
0156          F1=1.                                                         00002470
0157          T1=0.                                                         00002480
0158          T2=0.                                                         00002490
0159          S1=0.                                                         00002500
0160          S2=0.0                                                        00002510
0161          TEST2=0                                                       00002520
0162          RFAC=1.0                                                      00002530
0163          DO 1230 IZN=1,IZNS                                            00002540
0164          IPLOT(IZN)=IZN                                                00002550
0165     1230 S2=S2+CAFAC(IZN)                                              00002560
0166          WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)                                     00002570
0167          IRTN=IDATES(NODATE)*.0001                                     00002580
0168          IS=IDATES(1)*.0001                                            00002590
0169          IRTN=IRTN-IS                                                  00002600
0170          IS=0                                                          00002610
0171          IF(IDATES(1).GT.1300) GO TO 3160                              00002620
0172          DO 3150 I=1,NODATE                                            00002630
0173          IDATES(I)=IDATES(I)+ISYR*10000                                00002640
0174     3150 CONTINUE                                                      00002650
0175     3160 CONTINUE                                                      00002660
0176          IF((IDATES(NODATE)-(IRTN*10000)).LT.IDATES(1)) IRTN=IRTN-1    00002670
0177          IRTN=IRTN+1                                                   00002680
0178          ACCSNW=SNSTR*.1                                               00002690
0179          WI=ACCSNW/25.4                                                00002700
     C                                                                      00002710
     C        READING OF DAILY DATA                                         00002720
     C                                                                      00002730
     C     IDENT            YEAR                                            00002740
     C     IDATE            MONTH/DAY                                       00002750
     C     MAX(MAX)         MAXIMUM TEMPERATURE                             00002760
     C     MIN(MIN)         MINIMUM TEMPERATURE                             00002770
```

```
C     PCP               PRECIPITATION                                          00002780
C     PE                POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION                           00002790
C                                                                              00002800
C       TEST OF BEGINNING DATE                                                 00002810
C                                                                              00002820
0160      20 CONTINUE                                                          00002830
0161         IF(NRST1.LT.1.AND.NRST2.GT.0) GO TO 22                            00002840
0162         READ(INT,4,END=252)IDENT(3),IDATE(3),PAX,PIN,PCP(3),PE(3)         00002850
0163         IF(ISEN.EQ.99) GO TO 20                                           00002860
0164         IF(PESTR.GT.0) PE(3)=PESTR                                        00002870
0165         PIN=PIN*9./5.+32.                                                 00002880
0166         PAX=PAX*9./5.+32.                                                 00002890
0167         PCP(3)=PCP(3)/25.4                                                00002900
0168         PE(3)=PE(3)/25.4                                                  00002910
0169         TIN(3)=PIN                                                        00002920
0170         TMAX(3)=PAX                                                       00002930
0171         TMAX(2)=TMAX(3)                                                   00002940
0172         TMIN(2)=TMIN(3)                                                   00002950
0173         IDT=IDENT(3)*10000+IDATE(3)                                       00002960
0174         IF(IDT.EQ.IDATES(1))GO TO 22                                      00002970
0175       4 FORMAT(7X,I2,I4,2F4.1,6X,F4.1,11X,F4.1)                           00002980
0176         GO TO 20                                                          00002990
C                                                                              00003000
0177      22 CONTINUE                                                          00003010
0178         DO 240 I=1,2                                                      00003020
0179         IDENT(I)=IDENT(I+1)                                               00003030
0180         IDATE(I)=IDATE(I+1)                                               00003040
0181         PCP(I)=PCP(I+1)                                                   00003050
0182         PE(I)=PE(I+1)                                                     00003060
0183         TMAN(I)=TMAN(I+1)                                                 00003070
0184         TMAX(I)=TMAX(I+1)                                                 00003080
0185      240 TMIN(I)=TMIN(I+1)                                                00003090
0186         READ(INT,4,END=252)IDENT(3),IDATE(3),PAX,PIN,PCP(3),PE(3)         00003100
0187         IF(PESTR.GT.0) PE(3)=PESTR                                        00003110
0188         PAX=PAX*9./5.+32.                                                 00003120
0189         PIN=PIN*9./5.+32.                                                 00003130
0190         PCP(3)=PCP(3)/25.4                                                00003140
0191         PE(3)=PE(3)/25.4                                                  00003150
0192         IF(PCP(3).GT.99.00) PCP(3)=0.                                     00003160
0193         IF(IDATE(3).EQ.IDRN) RFAC=0.0                                     00003170
0194         IF(IDATE(3).EQ.NORN) RFAC=1.0                                     00003180
0195         PCP(3)=PCP(3)*RFAC                                                00003190
0196         TMAX(3)=PAX                                                       00003200
0197         TMIN(3)=PIN                                                       00003210
0198         TMAN(3)=(PAX+PIN)/2.+.5                                           00003220
0199         MDT=MDT+1                                                         00003230
0200         MONTH=IDATE(3)/100                                                00003240
0201         IDAY=IDATE(3)-MONTH*100                                           00003250
C                                                                              00003260
C     IDATES            CROP STAGE DATES (ALL YEARS)                         00003270
C     NDUT              CROP STAGE DATES COUNTER                             00003280
C     IDI               YEAR/MONTH/DAY OF DAILY CALCULATIONS                 00003290
C     IST               CROP DEVELOPMENT STAGE                               00003300
```

```
C                                                                                00003310
      OPE=PE(3)                                                                  00003320
      IDT=IDATE(3)*10000+IDATE(3)                                                00003330
   23 IF(IDT.EQ.IDATES(KDD,I+1))IST=IST+1                                        00003340
      IF(IST.GT.NSI)SMCOFF=SMCOF(1)                                              00003350
      IF(IST.GT.NSI)IST=1                                                        00003360
      IF(IDATE(3).EQ.RSNO)SMCOFF=SMCOF(2)                                        00003370
      PRECIP=PCP(3)                                                              00003380
C                                                                                00003390
CCC   PREPARING THE BINOMIAL SMOOTHING FOR TEMPERATURE                           00003400
C                                                                                00003410
      MAXSM=(MAX(1)+MAX(2)*2+MAX(3)*3)/6.                                        00003420
C                                                                                00003430
CCC   TESTING TO DETERMINE IF SNOW BUDGET APLIES                                 00003440
C                                                                                00003450
      IF(NOSNO.GT.0) GO TO 101                                                   00003460
      IF(IDATE(3).GT.ISFL.AND.(IS.EQ.1.OR.MAXSM.LT.IFTP)) GO TO 299              00003470
      IF(IDATE(3).LT.ISSG)GO TO 300                                              00003480
      IF(IDATE(3).GT.ISSG.AND.IDATE(3).LT.ISFL.AND.ACCSNW.LT.0.01)SMCOFF=00003490
     1=1.                                                                        00003500
      IF(MAXSM.LT.IFTP.AND.IDATE(3).GT.700) GO TO 300                            00003510
      IF(MAXSM.LT.ISTP.AND.IDATE(3).LT.700) GO TO 300                            00003520
      IF(ACCSNW.GT.0.) GO TO 300                                                 00003530
      F1=1.0                                                                     00003540
      GO TO 104                                                                  00003550
C                                                                                00003560
CCC   SNOW BUDGET CALCULATIONS                                                   00003570
C                                                                                00003580
  299 SMCOFF=SMCOF                                                               00003590
  300 IS=1                                                                       00003600
C                                                                                00003610
CCC   CALCULATE WATER EQUIVELENT OF SNOW PACK AND HOLDING CAPACITY               00003620
C                                                                                00003630
      W1=W1+SMCOFF  *PCP(3)-PE(3)                                                00003640
      IF(W1.LT.0.)W1=0.                                                          00003650
      D1=S2                                                                      00003660
      DO 1240 IZN=1,12NS                                                         00003670
 1240 D1=D1-CONINT(IZP)                                                          00003680
      W1=W1*.15                                                                  00003690
C                                                                                00003700
CCC   CALCULATE APPLICABLE CURVE AND POTENTIAL DAILY MELT                        00003710
C                                                                                00003720
CCC   IS              INDICATOR FOR SNOW BUDGET IN EFFECT                        00003730
CCC   ACCSNW(P1)      SNOWPACK AFTER BLOW-OFF                                    00003740
CCC   D1              TOTAL DEFICIT (ALL ZONES)                                  00003750
CCC   S2              TOTAL CAPACITY                                             00003760
CCC   W1              MELTWATER RETAINED IN THE SNOWPACK                         00003770
CCC   XX(P2)          DAILY SNOWMELT                                             00003780
CCC   R1(T2)          ACCUMULATED SNOWMELT IN THE SNOWPACK                       00003790
C                                                                                00003800
      IF(MAX(3).GT.47)GO TO 310                                                  00003810
      IF(MAX(3).GT.42)GO TO 330                                                  00003820
      IF(MAX(3).GT.37)GO TO 350                                                  00003830
```

```
0250                JF=1                                                                  00003840
0251                GO TO 360                                                             00003850
0252              310 JF=4                                                                00003860
0253                GO TO 360                                                             00003870
0254              330 JF=3                                                                00003880
0255                GO TO 360                                                             00003890
0256              350 JF=2                                                                00003900
0257              360 CONTINUE                                                            00003910
                C                                                                         00003920
                C     ADAY SNOWMELT EQUATION                                              00003930
                C                                                                         00003940
0258                I=JF                                                                  00003950
0259                J=MONTH                                                               00003960
0260                DD=AQ(I,J+1)                                                          00003970
0261                IF (IDAY.GT.22) DD=(AQ(I,J+2)+AQ(I,J+1))*.5                           00003980
0262                IF (IDAY.LT.8) DD=(AQ(I,J+1)+AQ(I,J))*.5                              00003990
0263                P2=DD                                                                 00004000
0264                IF(MAX(3).LT.32) P2=0.0                                               00004010
0265                IF(P2.LE..1)GO TO 380                                                 00004020
0266                P2=.1                                                                 00004030
                C                                                                         00004040
                C     CALCULATE RETENSION AND ACTUAL LOSS TO SNOW PACK                    00004050
                C                                                                         00004060
                C     A1              MELTWATER INFILTRAITON TO SOIL                      00004070
                C     B1              MELTWATER DRAINAGE OUT OF SNOWPACK                  00004080
                C     R2              SNOWMELT SURFACE RUNOFF                             00004090
                C     I1              SNOWMELT REFROZEN IN UPPER SOIL                     00004100
                C     G2              TOTAL DEFICIT AFTER MELTWATER INFILTRATION          00004110
                C     F1              HOBBS-KROGMAN MULTIPLIER FOR OVER-WINTER STORAGE POT00004120
                C                                                                         00004130
0267              380 R1=T2+P2                                                          00004140
0268                T2=R1                                                               00004150
0269                B1=R1-A1                                                            00004160
0270                IF(R1.LE.A1)GO TO 435                                               00004170
0271                R1=A1                                                               00004180
0272                P2=A1                                                               00004190
0273              435 IF(B1.LE.0.) B1=0.                                                00004200
0274                IF(B1.GT.P2) B1=P2                                                  00004210
                C                                                                         00004220
                C     CALCULATE INFILTRATION,RUNOFF AND SOIL MOISTURE DEFICIT             00004230
                C                                                                         00004240
0275                A1=B1                                                               00004250
0276                F1=1.                                                               00004260
0277                T1=0.                                                               00004270
0278                EXFRUT=0.                                                           00004280
0279                DO 1260 I=1,IFRNT                                                   00004290
0280                T1=T1+EXCSM(I)                                                      00004300
0281                EXFRUT=EXFRNT+EXCAP(I)                                              00004310
0282             1260 CONTINUE                                                          00004320
0283                T1=T1/EXFRNT                                                        00004330
0284                IF(IDATE(3).LT.ISEL.AND.IDATE(3).GT.700) T1=0.                      00004340
0285                D2=D1-A1                                                            00004350
0286                D1=D2                                                               00004360
```

```
      R2=E1-A1
      ACCSNF=W1
      A1=W1-E1
      IF(W1.GE.0.)A1=0.
      IF(MAX(3).LT.32) T2=0.
      IF(MAX(3).GT.20)GO TO 437
C
C     INFILTRATION RATE ADJUSTMENT DUE TO FREEZING OF SOIL
C
      F1=1.0-T1
  437 PRECIP=A1
      RUNOFF=R2
      GO TO 141
C
C   SNOW BUDGET ENDS
C
C     CALCULATING EFFECT OF PE DEMAND RATE
C
  101 MONTH=IDATE(3)/100
      ACCSNW=0.
      AYE=0.
      IS=0
      I1=0.
      F1 = 1.
      SMCOFF=1.0
  141 SUMDEL=0.
C
C     COMPUTATION OF THE MOISTURE DEPLETION FROM EACH ZONE
C   AYE             TOTAL INFILTRATION
C   RUNOFF          SURFACE RUNOFF
C   DEL             RELATIVE MOISTURE CONTENT OF EACH ZONE
C   COF             ADJUSTED K-COEFFICIENTS
C
      IF(ACCSNW.GT.0.) PE(3)=0.
      DO 110 I=1,IZNS
      DEL=CONTNT(I)/CAPAC(I)
      COF(I)=COEFS(IST,I)
      IF(IST.LT.NEW)GO TO 98
      IF(I.EQ.1)GO TO 98
      DO 96 J=2,I
      K=J-1
C
C     ADJUSTING  SOIL MOISTURE COEFFICIENT FOR STRESS
C
   96 COF(I)=COF(I)+COF(I)*COF(K)*(1.-CONTNT(K)/CAPAC(K))
   98 IT=DEL*100.
      IF(IT.GT.0)GO TO 102
      WORK=0.
      GO TO 106
  102 IF(KNTROL.GT.6) GO TO 103
      IF(I.GT.KNTROL) GO TO 104
      WORK=TABLE1(IT)
```

```
0321          GO TO 106                                                          00004900
0322      104 WORK=TABLE2(IT)                                                    00004910
0323          GO TO 106                                                          00004920
0324      103 IF(IST.EQ.1) GO TO 106                                             00004930
0325          WORK=TABLE1(IT)                                                    00004940
0326          GO TO 106                                                          00004950
0327      106 WORK=TABLE2(IT)                                                    00004960
C                                                                                00004970
CC        COMPUTING OF WATER LOSS FROM EACH ZONE                                 00004980
C                                                                                00004990
C     DEL                 (REDEFINED) AE FOR EACH ZONE                         00005000
C     EXF(X)              INFILTRATION WATER ALLOCATED TO EACH ZONE             00005010
C     SUMDEL              ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION(AE) DAILY                  00005020
C     CONTNT              (REDEFINED) COMPUTED MOISTURE CONTENT OF EACH ZONE   00005030
C                                                                                00005040
0328      106 DEL=DEL*WORK*PE(3) *CUF(I)                                         00005050
0329          IF(DEL.GT.CONTNT(I))DEL=CONTNT(I)                                  00005060
0330          DELTA(I)=DEL                                                       00005070
0331      110 SUMDEL=SUMDEL+DELTA(I)                                             00005080
C                                                                                00005090
CC        AFX DRAINAGE FUNCTION NOV. 1982,ADAPTED FROM H337.                     00005100
C                                                                                00005110
0332          ISUC=0                                                             00005120
0333          IY=IPRNT+1                                                         00005130
0334          IZ=IZMS                                                            00005140
0335          IF(IY.GT.IZ) IY=IZ                                                 00005150
0336          EXTTL=0.0                                                          00005160
0337          AVE=PRECIP                                                         00005170
0338          EXF=EXTOTL-EXPRNT                                                  00005180
0339          DO 2300 I=1,IZMS                                                   00005190
0340     2300 X(I)=0.0                                                           00005200
0341          DO 2310 I=1,IPRNT                                                  00005210
0342     2310 EXTTL=EXTTL+EXCSW(I)                                               00005220
0343          CSAT=DR*(2)                                                        00005230
0344          EXTL=CSAT                                                          00005240
0345          IF(EXTTL.GT.CSAT) EXTL=EXTTL                                       00005250
0346          IF(EXTTL.GT.CSAT) EXTTL=CSAT                                       00005260
0347          EXTL=EXTL-CSAT                                                     00005270
0348          EXTL=EXTL+((1.0-DRS)*EXTTL)                                        00005280
0349          EXTTL=EXTTL*DRS                                                    00005290
0350          EXTO=0.0                                                           00005300
0351          DO 2320 I=IY,IZ                                                    00005310
0352     2320 EXTO=EXTO+EXCSW(I)                                                 00005320
0353          CSAT=DR*(3)                                                        00005330
0354          IF(EXTO.GT.CSAT) EXTTL=EXTTL+(EXTO-CSAT)                           00005340
0355          IF(EXTO.GT.CSAT) EXTO=CSAT                                         00005350
0356     2350 CONTINUE                                                           00005360
0357          DO 2330 I=IY,IZ                                                    00005370
0358          XCAP=CAPAC(I)-CONTNT(I)                                            00005380
0359          IF(XCAP.LT.0.0) XCAP=0.0                                           00005390
0360          XCAP=XCAP+DELTA(I)                                                 00005400
0361          XD=XCAP                                                            00005410
0362          IF(XD.GT.EXTTL) XD=EXTTL                                           00005420
```

```
0363                EXTTL=EXTTL-XD                                                  00005430
0364                IF(EXTTL.LT.0.0) EXTTL=0.0                                      00005440
0365                X(1)=XD                                                         00005450
0366           2330 CONTINUE                                                        00005460
0367                EXF=EXF/25.4                                                    00005470
0368                IF(EXF.GT.0.0)EXF=EXTTL/EXF                                     00005480
0369                IF(EXF.LE.0.0.OR.EXF.GT.1.0)EXF=1.0                             00005490
0370                DO 2360 I=IY,IZ                                                 00005500
0371                XD=EXCAP(I)*EXF                                                 00005510
0372                IF(XD.GT.EXTTL) XD=EXTTL                                        00005520
0373                EXTTL=EXTTL-XD                                                  00005530
0374                EXCSW(I)=XD                                                     00005540
0375           2360 CONTINUE                                                        00005550
0376                IF(ISEC.GT.0) PDL=PDL+EXTTL                                     00005560
0377           2340 CONTINUE                                                        00005570
0378                ISEC=ISEC+1                                                     00005580
0379                IF(ISEC.GT.1) GO TO 2370                                        00005590
0380                IY=1                                                            00005600
0381                IZ=IFRST                                                        00005610
0382                PDL=PDL+AVE                                                     00005620
0383                AC=EXCSW(1)/EXCAP(1)                                            00005630
0384                AC=(2.0*AC)/3.0                                                 00005640
0385                CSLP=SSLP*AC                                                    00005650
0386                RUNOFF=PDL*CSLP                                                 00005660
0387                IF(RUNOFF.LT.0.0) RUNOFF=0.0                                    00005670
0388                PDL=PDL-RUNOFF                                                  00005680
0389                EXTTL=PDL                                                       00005690
0390                CSAT=DRN(1)*P1                                                  00005700
0391                IF(EXTTL.GT.CSAT) EXTTL=CSAT                                    00005710
0392                PDL=PDL-EXTTL                                                   00005720
0393                EXTTL=EXTTL+EXTL                                                00005730
0394                AVE=EXTL                                                        00005740
0395                EXF=EXFRST                                                      00005750
0396                GO TO 2350                                                      00005760
0397           2370 CONTINUE                                                        00005770
0398           2390 CONTINUE                                                        00005780
C                                                                                  00005790
0399            210 DRI=0.                                                         00005800
C                                                                                  00005810
C       APPLYING PRECIPITATION AND EVAPORATION TO EACH ZONE                        00005820
C                                                                                  00005830
0400                DO 230 I=1,IZNS                                                00005840
0401                CONINT(I)=CONINT(I)-DELTA(I)+X(I)                              00005850
0402                IF(CONINT(I).LT.0.)CONINT(I)=0.                                00005860
0403            230 CONTINUE                                                       00005870
0404                P1=P1*25.4                                                     00005880
0405                PCP(3)=PCP(3)*25.4                                             00005890
0406                DPE=DPE*25.4                                                   00005900
0407                SURDEL=SURDEL*25.4                                             00005910
0408                IOFOB=0.0                                                      00005920
0409                I1=0.0                                                         00005930
0410                DO 505 I=1,IZNS                                                00005940
0411                CONINT(I)=CONINT(I)+EXCSW(I)                                   00005950
```

```
0432                  IF(I.LE.IPRNT) T1=T1+CONTNT(I)+PRMDL1(1)                                  00005960
0433                  IF(OBDPTH(I).LE.0.0) GO TO 505                                            00005970
0434                  PRCNT(I)=CONTNT(I)+PRMDL1(I)                                              00005980
0435                  PRCNT(I)=(PRCNT(I)/(OBDPTH(I)-TOPOB))*100.0                               00005990
0436                  TOPOB=OBDPTH(I)                                                           00006000
0437                  IPLOT(I)=PRCNT(I)*(SCL+1.0)                                               00006010
0438                  L=IPLOT(I)                                                                00006020
0439                  LPLOT(L)=1                                                                00006030
0440             505  CONTNT(I)=CONTNT(I)*25.4                                                  00006040
0441                  RUNOFF=RUNOFF*25.4                                                        00006050
0442                  AVE=AVE*25.4                                                              00006060
0443                  ACCSNW=ACCSNW*25.4                                                        00006070
0444                  PDL=PDL*25.4                                                              00006080
0445                  AM=MIN(3)                                                                 00006090
0446                  AN=(AM-32.)*5./9.                                                         00006100
0447                  MIN(3)=AN+100.5-100.                                                      00006110
0448                  AM=MAX(3)                                                                 00006120
0449                  AN=(AM-32.)*5./9.                                                         00006130
0450                  MAX(3)=AN+100.5-100.                                                      00006140
                C                                                                               00006150
                C     DAILY PRINTOUT                                                            00006160
                C                                                                               00006170
0451                  WRITE(IP,11)IDENT(3),IDATE(3),IST,PCP(3),OPE ,SUMDEL,CONTNT,RUNOFF00006180
                     1,AVE,MIN(3),MAX(3),ACCSNW,EI,PDL                                          00006190
0452                  IF(OBDPTH(I).LE.0.0) GO TO 3051                                           00006200
0453                  WRITE(IP,3052) PRCNT,CUF                                                  00006210
0454             3052 FORMAT(23X,6F5.1,5X,6F5.2)                                                00006220
                C                                                                               00006230
                C     DAILY PLOT                                                                00006240
                C                                                                               00006250
0455                  WRITE(IP,3075) IDENT(3),IDATE(3),LPLOT,PCP(3)                             00006260
0456             3075 FORMAT(2I4,1X,100I1,1X,F5.1)                                              00006270
0457                  IF(IHOR.LT.1) GO TO 3076                                                  00006280
0458                  DO 3076 I=1,IHOR                                                          00006290
0459                  WRITE(IP,3077)                                                            00006300
0460             3077 FORMAT(' ',' ')                                                           00006310
0461             3076 CONTINUE                                                                  00006320
0462                  DO 3070 I=1,1206                                                          00006330
0463                  L=IPLOT(I)                                                                00006340
0464                  LPLOT(L)=0                                                                00006350
0465             3070 CONTINUE                                                                  00006360
0466             3051 CONTINUE                                                                  00006370
                      AI=0.                                                                     00006380
                      PMAX=MAX(3)                                                               00006390
0467                  MAX(3)=PMAX*9./5.+32.                                                     00006400
0468                  PMIN=MIN(3)                                                               00006410
0469                  MIN(3)=PMIN*9./5.+32.                                                     00006420
                C                                                                               00006430
                C                                                                               00006500
0470                  PCP(3)=PCP(3)/25.4                                                        00006510
0471                  PDL=PDL/25.4                                                              00006520
0472                  DO 506 I=1,1248                                                           00006530
0473                  CONTNT(I)=CONTNT(I)/25.4                                                  00006540
```

```
  506 CONTNT(I)=CONTNT(I)-EXCSW(I)
  232 CONTINUE
   11 FORMAT(3X,I2,I4,I2,F5.1,2F4.1,8F5.1,2I4,F6.1,2F5.1)
      IDT=IDREAD(3)*10000+IDATE(3)
      IF(IDT.EQ.IDATES(KOUNT+1))KOUNT=KOUNT+1
      DO 235 I=1,IZNS
  235 A(I)=0.
C     INITIALIZING DATA FOR NEXT DATE AND SMOOTHING TECHNIQUE
C
      RUNOFF=0.
      AYE=0.0
      E1=0.0
      R2=0.0
      F2=0.0
C
C     END OF RUN CHECK
C
      IF(KOUNT.EQ.NODATE)GO TO 241
      IF(IDREAT(3).GT.NDYR) GO TO 3110
      GO TO 22
C
C     END OF RUN HOUSEKEEPING
C     AND SUMMARY PRINTOUT
C
  241 CONTINUE
C
C   YEARLY RESTART MODULE
C
      IF(IRTN.GT.(NDYR-ISYR)) GO TO 3110
      IF(NDYR.LE.ISYR) GO TO 3110
      DO 3120 I=1,NODATE
 3120 IDATES(I)=IDATES(I)+(10000*IRTN)
      KOUNT=1
      NRST2=1
      IF(NRST1.LT.1) GO TO 3132
      WRITE(3,3135)
 3135 FORMAT(8H RESTART)
      WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)
      WRITE(IP,3093) (J,J=1,10)
      RFAC=1.0
      ACCSNW=SNSTR*.1
      [illegible]=ACCSNW/25.4
      DO 3130 I=1,IZNS
 3130 CONTNT(I)=CONPST(I)
 3132 CONTINUE
      IF(IDATES(NODATE).LT.((NDYR+1)*10000)) GO TO 20
 3110 CONTINUE
C
      WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)
 3095 FORMAT(9X,10I10)
      TOPOP=0.0
      DO 3080 I=1,IZNS
      DDIF=DBDPTH(I)-TOPOP
```

```
      PCN1=PRAWLT(I)/DDIF
      PCN2=(CAPAC(I)/DDIF)+PCN1
      PCN3=(EXCAP(I)/DDIF)+PCN2
      TOFOB=OBDPTH(I)
 3080 WRITE(IP,3085) I,PCN1,PCN2,PCN3
 3085 FORMAT(I5,3F10.5)
C
C
C     NEW CONTROL DATA FILE
C
      GO TO 252
  253 READ(1,987,END=250)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD
      GO TO 254
  252 CONTINUE
      READ(1,987,END=253)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD
  254 WRITE(3,987)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD
      IF(ISEN.LT.1) GO TO 3192
C
C     NEW WEATHER FILE FILE
C
      IF(ISEN.LT.2.OR.ISEN.GT.5) GO TO 3196
C
C     NEW STARTING SOIL MOISTURE
C
      READ(1,502) CONRST
      WRITE(3,502)CONRST
      DO 3198 I=1,IZNS
      CONRST(I)=CONRST(I)-PRAWLT(I)
      CONRST(I)=CONRST(I)/25.4
      IF(CONRST(I).GT.CAPAC(I)) CONRST(I)=CAPAC(I)
 3198 CONTINUE
 3196 CONTINUE
      ACCSNW=SNSTR*.1
      W1=ACCSNW/25.4
      DO 3194 I=1,IZNS
 3194 CONTNT(I)=CONRST(I)
      IF(ISEN.EQ.99) GO TO 20
      IF(NFLE.LT.1) GO TO 3190
 3192 CONTINUE
C
C     NEW CONTROLS AND WEATHER FILE
C
      IF(NFLE.GT.0) GO TO 9997
  250 WRITE(3,5)
    5 FORMAT(11H END OF RUN)
  251 CALL EXIT
      END
```

APPENDIX B
Zonal Parameters Adjustment Program

```
      ZONE/DEPTH CONVERSIONS
      CP242D - BASED ON B242 FROM AGMET
      IT CONVERTS ANY DEPTH RELATED VARIABLE TO THE DESIRED
      ZONE BASIS FOR VR111. THESE INCLUDE DEPTH TO THE
      BOTTOM OF ZONES, WATER HOLDING PROPERTIES
      AND K-COEFFICIENTS.

      INPUT: NUMBER OF ZONES.
      IZNS - ZONES AS PER CENTS OF TOTAL DEPTH.
      STNDRD - NO. OF SETS OF OBSERVATIONS
      NODATE - NO. OF DEPTHS OBSERVED IN PROFILE, NOT TO EXCEED 6.
      NOD - DEPTH OF SOIL IN EACH DEPTH
      DEPTH - CAPACITY OF EACH OF THE DEPTHS.
      CAPD - OBSERVED VALUE OF EACH OF THE DEPTHS.
      DIMENSION DEPTH(6),CAPD(6),CAPZ(6),DZONE(6),OPS(6),OAZ(6)
     1 X(6),Y(6),Z(6),STNDRD(6)
  120 CONTINUE
      READ(1,11) STNDRD,IZNS
   11 FORMAT(6F5.3,5X,I5)
      IF(IZNS.LT.1) GO TO 110
      IF(IZNS.LT.2) IZNS=2
      DO 130 I=1,6
  130 DZONE(I)=0.0
      READ(1,1)NODATE,NOD,DEPTH,CAPD
    1 FORMAT(2I4,12F6.2)
      CAPC=CAPD(1)+CAPD(2)+CAPD(3)+CAPD(4)+CAPD(5)+CAPD(6)
      DO 12 I=1,IZNS
      CAPZ(I)=I*CAPC*STNDRD(I)
   12 CONTINUE
      WRITE(3,7) CAPZ
    7 FORMAT(6F5.1)
      J=1
      DO 9 I=1,IZNS
      X(I)=CAPZ(I)
      Y(I)=DEPTH(I)
    9 Z(I)=0.0
      DO 15 I=1,IZNS
    5 IF(Y(J).GE.X(I)) GO TO 10
      DZONE(I)=DZONE(I)+Z(J)
      X(I)=X(I)-Y(J)
      J=J+1
      GO TO 5
   10 XYZ=X(I)/Y(J)*Z(J)
      DZONE(I)=DZONE(I)+XYZ
      Z(J)=Z(J)-XYZ
      Y(J)=Y(J)-X(I)
   15 CONTINUE
      DO 20 I=2,IZNS
   20 DZONE(I)=DZONE(I)+DZONE(I-1)
```

```
0036                  DO 30 I=2,NOD
0037               30 DEPTH(I)=DEPTH(I)+DEPTH(I-1)
0038                  WRITE(3,2) DZONE,NOD,DEPTH,NODTF
0039                2 FORMAT(2(6F6.2,I4))
0040                  DO 100 K=1,NODTF
0041                  READ(1,6)(OBS(I),I=1,6)
0042                6 FORMAT(6F6.2)
0043                3 FORMAT(8X,6F6.2)
0044                  DO 35 I=1,6
0045                  IF(OBS(I).LE.0.) OBS(I)=0.
0046               35 OBZ(I)=0.
0047                  WRITE(3,3) OBS
0048                  TOM=0.
0049                  J=1
0050                  DEP=0.
0051                  DO 60 I=1,IZNS
0052            C     CALCULATES CONTROL VALUES BY ZONE AND WRITES AS CPVB3 INPUT
0053               40 IF(DZONE(I).GT.DEPTH(J)) GO TO 50
0054                  POBZ=(DZONE(I)-DEP)/(DEPTH(J)-DEP)*OBS(J)
0055                  OBZ(I)=OBZ(I)+POBZ
0056                  OBS(J)=OBS(J)-POBZ
0057                  GO TO 60
0058               50 OBZ(I)=OBZ(I)+OBS(J)
0059                  J=J+1
0060                  DEP=DEPTH(J-1)
0061                  GO TO 40
0062               60 TOM=TOM+OBZ(I)
0063                  WRITE(3,4) OBZ,TOM
0064                4 FORMAT(6X,7F6.2)
0065              100 CONTINUE
0066                  GO TO 120
0067              110 CONTINUE
0068                  CALL EXIT
                      END
```

Table B-1. CP242D Program Sample Output

```
12.7 12.7 13.4 12.7 26.1 50.4
 8.11 16.22 35.78 80.58178.74452.00    6 23.00 53.00114.00193.00300.00452.00    3
       35.90  6.70 19.50 18.80 12.30 34.70
      12.66 16.39  9.70 12.66 26.09 50.39127.90
       118.40 34.40156.10132.70144.10180.00
      41.76 54.06 37.23 90.32194.28348.05765.70
       14.50  3.80 10.20 10.10  5.30 12.60
        5.11  6.62  4.38  6.79 13.87 19.72 56.50
36.5 36.5 38.7 36.5 75.1145.1
10.42 20.84 45.96 73.70149.48401.00    5 23.00 71.00137.00249.00401.00  0.0    3
       80.50 65.00 62.60130.20 30.00  0.0
      36.46 39.89 35.24 36.46 75.13145.11368.30
       131.20118.50 83.30178.90185.20  0.0
      59.43 65.02 63.44 65.21100.63343.36697.10
       24.20 26.80 39.20 60.70  7.60  0.0
      10.96 11.99 14.07 15.58 44.63 61.27158.50
67.0 67.0 71.0 67.0138.0266.5
17.75 50.90 93.08140.98228.46452.00    6 18.00 51.00104.00178.00300.00452.00    3
       67.90 66.20 89.20 97.20216.00139.80
      66.95 66.95 71.01 66.95137.97265.46676.30
       105.30 75.00103.00 88.00218.70131.10
     103.83 76.25 81.99 70.20139.48259.35731.10
       40.90 47.70 63.20 71.80163.20101.70
      40.33 48.13 50.32 48.90103.42197.40488.50
 9.9  9.9 10.5  9.9 20.4 39.4
20.01 48.79 80.71110.81188.94406.60    6  7.60 26.60 64.60140.60254.60406.60    5
        0.50  0.20  0.15  0.08  0.05  0.0
       0.63  0.18  0.08  0.04  0.05  0.03  0.98
        0.50  0.25  0.23  0.22  0.15  0.10
       0.66  0.22  0.14  0.11  0.13  0.19  1.45
        0.50  0.22  0.18  0.15  0.15  0.10
       0.64  0.18  0.11  0.07  0.11  0.19  1.30
        0.50  0.25  0.25  0.20  0.18  0.12
       0.66  0.23  0.15  0.10  0.14  0.22  1.50
        0.45  0.25  0.20  0.20  0.20  0.15
       0.61  0.20  0.13  0.10  0.15  0.27  1.45
```

APPENDIX C

RUN CONTROL DATA

The following section describes and lists (Table C-1) the input controls to VBIII. The definition of the input variable names are given in comment statements within the program. Table A-1 allows the user to relate the controls back to the main text. They are listed here according to the particular input record that each appears on and the position in that record. Each record is a punch card, or a card image, and is 72 characters in length. Table C-1 lists the input parameters according to a numbered set of controls, each of which consists of one or more records. Each input record is also specified. Detailed instructions for each input variable are listed in Table C-2. Sample input control files are provided in Table C-3 for two different soil textures. The following description is intended for users who have some familiarity with computer programming in Fortran, but the user does not necessarily need to be proficient.

Numbers in brackets following some variables define the dimensions of the non-scalar variables. Single numbers give the length, or total possible number of entries for vectors. For example CAPAC(6) stores field capacity for zones 1 to 6. The variables followed by two numbers within brackets, separated by a comma, are matrices. For example in COEFS(5,6) there are 5 rows (one for each possible growth stage) and 6 columns (up to 6 zones). Each row is a new card (or card image).

The control parameters fall into two categories depending on whether they are integer or non-integer (real) numbers. Following the standard conventions, variable names starting with any letter I through N are integers. All other variables are real numbers, except for HEAD, which is a title. For real number inputs the location of the decimal points is specified.

The formats for all input control records are also shown in Table C-1. The letters in format statements, I,F and A designate input variables as integer, real and alphanumeric (title card) respectively. The number to the left of each letter indicates the number of variables read by each format, the number to the right indicates the length of record required by each variable (or element in the variable) and for real numbers, the number following the decimal indicates the number of places after the decimal. Blank spaces are indicated by Xs.

Soil Description

To describe a particular soil, the drying, drainage and water holding characteristics must be defined. The depth of soil and the zoning patterns must also be specified. The index for drying rates is enacted by defining two sets of parameters in Controls 3 and 5. These are M9, N9, H9, and R9 , based on parameters m,n, h and R in Table 1 of the main text. Records 4 and 6, which allow the z-tables to be read in, as in the previous version, are optional and can be omitted. These z-tables are given in Table E-2. Writing of z-tables is controlled by K in record 3 (not to be confused with k-coefficients described in the main text).

For K equal to any integer other than zero, z-tables are printed. A blank card for sets 3 and 5 causes the z-tables to be read-in requiring 10 cards each for controls and 4 and 6. Controls 3 and 5 cause z-tables to be generated internally. KNTROL defines the number of zones using the first z-table. For the option of using the second z-table to differentiate active root conditions from fallow conditions (see Alternate Drying Curves: Main text) KNTROL = 7.

Soil Water Holding Properties

Water holding properties include the saturation level (EXCAP), the field capacity (CAPAC) and the permanent wilting point (PRMWLT) of each zone. The number of zones (or soil layers) is defined by the number of elements in CAPAC (control 7). To describe a four-zone budget for example, supply values for the first four elements of this vector and leave the last two blank. If more than four values are provided in any parameters on controls 8 to 10 they will be ignored. If fewer than four values are provided zeroes will be substituted for the missing values. The actual depth (cm) to the bottom of each zone from the surface is defined in OBDPTH (control 10). These values are required to printout soil moisture contents on a percent volumetric basis or to plot them. The dimensions of the plot are controlled by SCL and IHOR which are described in Appendix D.

The infiltration/drainage function is controlled by the three maximum daily drainage amounts (DRN(1-3)), the fractional coefficient for drainage out of drainage layer 1 (DRN(4)) and by the number of zones in the top drainage layer (IFRNT). Other important factors are the actual depth of drainage Layer 1 and the differences between saturation and field capacity (EXCAP and CAPAC respectively). Default values for DRN and IFRNT are built into the program, so these can be left blank. TRP and SSLP are experimental parameters used to describe surface water and runoff rates and should be used with caution. TRP is the average depth of surface water trapped in depressions and not available for surface runoff. SSLP determines the rate of runoff. All infiltration/drainage parameters are supplied on Control number 9.

Crop Growth and Root Characteristics

The table of root coefficients is entered by zone and crop growth stage in COEFS (Control 11). When less than six zones are used, say four, then only four k-coefficients for each growth stage are required. The number of k-coefficients per stage should not affect the consumptive use factor assumed for each stage. A control card is required for each of the five growth stages, but these can be blank. Five are needed because Control 11 is always read in by five read steps or lines.

The crop stage dates are entered by reading the array IDATES in Control 13. Not all crop growth stage dates in the run are required as input unless they are all unique. If the dates are repeating from one year or group of years to the next then the dates specified in IDATES can be re-used. This feature can be used to reduce the required input for two-year (or more)

rotations. For example, when the number of stages read-in (ISTGES) is 10 and the number per year (NSY) is 5 (control 12), a repeating two-year rotation is given when the total number of years is greater than 2. The span of years analysed is set by ISYR and NDYR (Control 12). When the starting (ISYR) and ending (NDYR) years are given, only the month/day is required for each stage date, rather than the year/month/day. A typical stage date of June 15, 1963 would be read-in as "630615" or simply as "0615", if ISYR is specified. When stage dates are non-repeating throughout the run, then all dates can be entered in a string (12 dates per record), provided that the total number does not exceed 65 and is one more than the specified number of stages to be read (ISTGES).

Snow Budget

To enact this submodel, spring and fall termination and initiation dates and threshold temperatures are required. Two coefficients giving the fraction of daily snowfall added to the snowpack after blow-off are entered as SMCOF. The date for converting from the first to the second coefficient (KSNO) can be specified. A bypass (NOSNO) for the snow submodel is also available. All controls for this submodel are on control 2.

Restart Options

A feature of VBIII, which was developed to satisfy a variety of multi-weather file applications, is the flexibility in the restart procedures. The options include the ability to analyse (1) a complete weather file with only one set of controls being specified in the budget; (2) more than one segment of a weather file, skipping periods within a file, with only the crop stage dates and run dates (ISYR and NDYR) being re-specified; (3) multiple weather files with a new set of controls for each file; (4) multiple weather files with the original set of controls; (5) multiple weather files with the original controls, but the initial moisture contents being re-defined for each file; (6) multiple weather files with only the crop stage and start/end dates re-defined for each file; and (7) multiple weather files with both initial soil moisture and control dates being re-defined without changing other controls. These options are illustrated in the program flowchart in Figure A-1.

The restart options are controlled by the variables NFLE and ISEN (controls 1 and 14). The soil moisture contents are re-initialized after the last specified stage date (i.e. end of rotation) by reading CONRST on control 15. An integer value must be specified for MRST1 (on Control 8), otherwise soil moisture is re-initialized at the end of each rotation without re-defining other controls or skipping any weather records. NFLE and ISEN can be left blank on the first control record, but are re-entered at the end of the program.

The re-start control parameters are specified as follows: NFLE can be 0 or 1, ISEN can be 0, 1, 2 or 99 and MRSTI can be 0 or 1. For NFLE = 0 and ISEN = 99 the program reads, but doesn't compute, to the weather file end, and then reads a new NFLE and ISEN. For NFLE = 0 and ISEN = 1 the program re-initializes with the original starting moisture contents, whereas when ISEN = 2 a new set of starting moisture contents is read-in. When NFLE > 0 the program reads a complete new set of controls and ISEN is over-ridden.

Another option is to enter the control coefficients in two files. When record number 14 is not provided, the program looks for another record 14 if an end of file is encountered. The new record must be supplied in a new file. This feature is useful when the budget is applied to a number of sites or weather data files with one set of controls which may be altered or replaced.

TABLE C-1. Control data required to run VBIII, specified by the sequence of records, variable names and the format of each record

CONTROL NUMBER	VARIABLE NAMES AND DIMENSIONS	INPUT FORMAT	RECORD FORMATS REPEATED
1	NFLE, ISEN, NP, INT, IP, HEAD(57 characters)	(5I3,14A4, A1)	
2	ISFL, IESG, IFTP, ISTP, SMCOF(2), NOSNO, KSNO	(4I6, 6X, 2F10.5, 2I5)	
3	M9, N9, H9, R9, K, KNTROL	(2I5, 2F10.5, 2I5)	
4	TABLE 1(100)	(10F5.2)	x10
5	M9, N9, H9, R9, K	(2I5, 2F10.5, I5)	
6	TABLE 2(100)	(10F5.2)	x10
7	CAPAC(6)	(6F5.1)	
8	CONTNT(6), SNSTR, PESTR, MRSTI, IDRN, NDRN	(6F5.1, 5X, 2F5.1, I5, 10X,2I5)	
9	EXCAP(6), TRP, SSLP, DRN(6), IFRNT*	(14F5.1, I2)	
10	PRMWLT(6), OBDPTH(6), SCL, IHOR	(6F 5.1,5X, 6F5.1, F5.2, I2)	
11	COEFS(5,6)	(6F5.2)	x5
12	ISTGES, NEW, ISYR, NDYR, NSY	(2I4, 8X, 3I4)	
13	IDATES(65)	(13I6)	x(1 to 5)
14	NFLE, ISEN, NP, INT, IP, HEAD(57 characters)	(5I3, 14A4, A1)	
15	CONRST(6)	(6F5.1)	
16	ISTGES, NEW, ISYR, NDYR, NSY	(2I4, 8X, 3I4)	
17	IDATES(65)	(12I6)	x(1 to 5)
18	***blank card to end job***	---	

Note: that controls 4, 6, 14, 15, 16 and 17 are all optional and can be omitted.
*Leave DRN(5) and DRN(6) blank

TABLE C-2. CONTROL INPUT INSTRUCTIONS

CONTROL NUMBER	FORMAT	VARIABLE DESCRIPTION
1	COL 1 TO 6	NPLE,IBEN: RESTART PARAMETERS. BLANK OR ZERO ON FIRST CARD
	7 TO 9	NF : OUTPUT UNIT OF THE DAILY PRINT ALL THE INPUT RECORDS OF THE CONTROL FILE ARE PRINTED ON UNIT 3
	10 TO 12	INT : INPUT UNIT FOR THE WEATHER DATA FILE FORMAT: (7X,I2,I4,2F4.1,8X,F4.1,11X,F4.1) IDENT,LDATE,PAX,PIN,PCP,PE IDENT: YEAR LDATE: MONTH,DAY PAX : DAILY MAXIMUM TEMPERATURE (C) PIN : DAILY MINIMUM TEMPERATURE (C) PCP : DAILY PRECIPITATION (MM) PE : DAILY POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION (MM)
	13 TO 15	IP : OUTPUT UNIT FOR THE SOIL-MOISTURE PLOT
	16 TO 80	HEAD : TITLE WRITING WITH 65 CHARACTERS
2	COL 1 TO 5	ISFL : BEGINNING DATE OF WINTER (SNOW) BUDGET. SEE TABLE 2.
	7 TO 12	IESG : ENDING DATE OF WINTER BUDGET. SEE TABLE 2
	13 TO 18	ISTP : RAIN/SNOW TRESHOLD TEMPERATURE FOR FALL
	19 TO 24	ISTP : RAIN/SNOW TRESHOLD TEMPERATURE FOR SPRING. SEE TABLE 2 IN TEXT
	31 TO 50	SMCOF : % OF SNOW REMAINING AFTER BLOW-OFF (2 VALUES) WHEN THE SOIL SURFACE CONDITIONS ARE NOT CHANGING BETWEEN 2 WINTERS, SMCOF(1) SHOULD HAVE THE SAME VALUE AS SMCOF(2). SMCOF(1) IS FOR SNOW BLOW-OFF IN THE FIRST WINTER WHILE SMCOF(2) IS FOR THE SECOND WINTER. SMCOF(1 OR 2) HAS A HIGH VALUE (0.7) FOR A GROUND COVER (SOD OR STUBBLE) AND A LOW VALUE (0.5) FOR BARE SOIL.
	COL 51 TO 55	NOSNO : THE SNOW SUBMODEL BYPASS =0 CALCULATION OF THE SNOW BUDGET =1 BYPASS THE SNOW BUDGET
	56 TO 60	KSNO : SNOW BLOW DATE CHANGE.FIXES THE DATE AFTER WHICH SMCOF(2) WILL BE USED INSTEAD OF SMCOF(1). SUGGEST KSNO=0701 FOR NORMAL CROP GROWTH.

```
3     COL  1 TO 30   MF,NF,MS,RF:DRYING CURVES INDEX PARAMETERS.  SEE TABLE 1
                            IF MF=NF=0, THE ORIGINAL Z-TABLES WILL BE USED (APPENDIX E-2)
                            MF AND NF ARE 0 OR 1
           31 TO 36   K       : Z-TABLE WRITE CONTROL
                            K=0  NO PRINTING
                            K=1  PRINTING ON UNIT 3 OF THE DRYING CURVES AS CALCULATED OR READ
           37 TO 41    KNTROL  : NUMBER OF ZONES USING THIS FIRST DRYING CURVE
                            KNTROL=7  THE SECOND TABLE (RECORDS 4 AND 5) WILL BE USED ONLY FOR FALLOW CONDITIONS
                            KNTROL=6  DEFAULT VALUE


OPT 4 COL  1 TO 50   TABLE1  : ORIGINAL Z-TABLES
                            THESE RECORDS AREN'T REQUIRED IF Z-TABLES HAVE TO BE CALCULATED FOLLOWING EQUATION 2


  5                         SAME MEANINGS AS FOR CONTROL NUMBER 3. KNTROL DOESN'T HAVE TO BE DEFINED.


OPT 6                       SAME MEANING AS CONTROL NUMBER 4


  7   COL  1 TO 30   CAPAC   : FIELD CAPACITY (MM) FOR EACH ZONE.
                            E.G. FOR 4 ZONES, CAPAC(5) AND CAPAC(6) CAN BE BLANK


  8   COL  1 TO 30   CONTNT  : INITIAL SOIL-MOISTURE CONTENT IN EACH ZONE (MM)
         36 TO 40    SNSTR  : INITIAL ACCUMULATION OF SNOW ON GROUND
         41 TO 45    PESTR  : VALUE OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION
                            =0  POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION IS READ ON THE WEATHER DATA FILE
                            >0  A FIXED VALUE OF THE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION. E.G. FOR CONTROLLED ENVIRONMENT
         46 TO 50    MRSTI  : MOISTURE RE-INITIALIZE PARAMETER.  MUST =1 TO RE-INITIALIZE SNSTR AND CONTNT.
                            OTHERWISE =0
         56 TO 65    IDRN, NDRN: DATES FOR NO RAIN ASSUMED
```

```
9     COL  1 TO 30    EXCAP    : TOTAL VOID SPACE OF EACH ZONE (MM) OR SATUFATION LEVEL
                                  WATER CONTENTS FOR EACH ZONE
           31 TO 35    TRP      : SURFACE WATER TRAPPED IN DEPRESSIONS
                                  AND NOT AVAILABLE FOR SURFACE RUNOFF
           36 TO 45    SSLP     : SLOPE/RUNOFF COEFFICIENT.  DETERMINES THE RATE OF RUNOFF
           46 TO 50    DRN      : DRAINAGE RATE AND LIMITS.  MAXIMUM WATER VOLUME DRAINING
                                  FROM THE SURFACE TO DRAINAGE LAYER1 (DRN(1))
                                  FROM DRAINAGE LAYER 1 TO DRAINAGE LAYER 2 (DRN(2))
                                  OUT OF THE BOTTOM OF DRAINAGE LAYER (DRN(3))
                                  DRN(4) IS THE  RATE OF DRAINAGE OUT OF DRAINAGE LAYER 1
                                  DEFAULT VALUE DRN(1)= EXCESS WATER CAPACITY IN THE DAINAGE LAYER 1
                                                DRN(2)= DRN(1); DRN(3)= DRN(2); DRN(4)=20%
           76 TO 78    IFRNT    : NUMBER OF ZONES IN DRAINAGE LAYER 1

10    COL  1 TO 30    PRMWLT   : PERMANENT WILTING POINT (MM) OF EACH ZONE
      COL 31 TO 60    GRDPTH   : BOTTOM DEPTH OF EACH ZONE (CMS), OPTIONNEL
      COL 66 TO 70    SCL      : THE PLOT SCALING FACTOR FOR SOIL-MOISTURE AXES
                                  =0 FOR ONE CHARACTER PER ONE PERCENT VOLUMETRIC
                                  =1 FOR TWO CHARACTERS PER ONE PERCENT
           71 TO 73    IHOR     : HORIZONTAL FACTOR.  NUMBER OF LINES BETWEEN DAYS.   IHOR=0 NO LINES SKIPPED

11    COL  1 TO 30    COEFS    : CROP COEFFICIENTS FOR EACH ZONE AND 5 STAGES.
                                  IF LESS THAN 5 STAGES ARE CONSIDERED, BLANK CARDS MUST BE INSERTED TO
                                  COMPLETE FIVE CARDS.

12    COL  1 TO  4    ISTGES   : TOTAL NUMBER OF CROP DEVELOPMENT STAGES
             5 TO  8    NEW      : CROP STAGE FOR K-ADJUSTMENT START.  SEE EQUATION 2
            17 TO 20    ISYR     : STARTING YEAR
            21 TO 24    NDYR     : LAST YEAR OF RUN
            25 TO 28    NSY      : CROP STAGES PER YEAR OR ROTATION.
```

13	COL 1 TO 72	IDATES	: CROP DEVELOPMENT STAGE DATES ENTER YEAR,MONTH, DAY OF STARTING DATE OF EACH STAGE PLUS THE DATE OF THE RUN END (YEAR IS OPTIONNAL) NUMBER OF DATES= IETGES+1
OPT 14	COL 1 TO 3	NFLE,ISEN:	RESTART PARAMETERS NFLE =1 ISEN IS OVER-RIDDEN AND THE PROGRAM READS A COMPLETE NEW SET OF CONTROLS. CONTROL NUMBER 2 TO 13 MUST BE PROVIDED NFLE=0,ISEN=0 ENDS JOB NFLE=0,ISEN=1 PROGRAM RE-INITIALIZE WITH THE ORIGINAL STARTING MOISTURE CONTENT AS READ ON CONTROL NUMBER 8. CONTROL NUMBER 16 AND 17 MUST BE PROVIDED NFLE=0,ISEN=2 PROGRAM READS A NEW SET OF MOISTURE CONTENT CONTROL NUMBER 15, 16, 17 MUST BE PROVIDED NFLE=0,ISEN=99 WEATHER DATA FILE READ TO THE END WITHOUT COMPILATION AND A NEW CONTROL NUMBER 14 WILL BE READ. THIS ALLOW MULTIPLE FILE PROCESSING.
	COL 7 TO 60	NP,INT,IP,HEAD	:SAME MEANING AS ON CONTROL NUMBER 1
OPT 15	COL 1 TO 30	CONSFST	: NEW SET OF INITIAL SOIL MOISTURE CONTENTS WHICH MUST BE PROVIDED IF NFLE=0,ISEN= 2
OPT 16, 17			SAME AS ON CONTROL NUMBER 12 . MUST BE PROVIDED IF NFLE =0, ISEN >0 BUT < 99
18			*** BLANK CARD TO END JOB ***

TABLE C - 3. SAMPLE INPUT CONTROL DATA

CLAY LOAM

```
  1  1 16 13 16    OTTAWA
 1101    401     5     7          0.70000   0.50000    0    0
   1      1   1.00000    0.60000    0    6
   1      1   1.00000    0.60000    0
30.0 30.0 60.0120.0  0.0  0.0
40.0 40.0 60.0120.0  0.0  0.0      0.0  0.0   0                  0    0
50.0 50.0100.0200.0  0.0  0.0  0.0  5.0 50.0  0.0  0.0 60.0  0.0  0.0 1
 5.0  5.0 15.0 20.0  0.0  0.0      15.0 30.0 60.0120.0  0.0  0.0 1.00 0
0.63 0.16 0.17 0.08 0.0  0.0
0.64 0.20 0.21 0.29 0.0  0.0
0.64 0.18 0.18 0.30 0.0  0.0
0.54 0.23 0.22 0.36 0.0  0.0
0.61 0.20 0.23 0.40 0.0  0.0
  5    4              60   65    5
   501   601    709   816   923   1120
 0 99 16 13 16       EVD
 0  1 16 13 16       HARROW
  5    4              60   65    5
   501   601    709   816   923   1120
 0  0  0  0  0
```

SAND

```
  1  1  9 13  6    OTTAWA
 1101    401     5     7          0.80000   0.80000    0    0
   1      0     0.0      0.50000    0    6
   1      0     0.0      0.50000    0
15.0 15.0 30.0 10.0  0.0  0.0
25.0 25.0 30.0 60.0  0.0  0.0      0.0  0.0   0                  0    0
45.0 45.0 90.0180.0  0.0  0.0  0.0  5.0 50.0  0.0  0.0 80.0  0.0  0.0 2
 0.0  0.0  0.0  0.0  0.0  0.0      15.0 30.0 60.0120.0  0.0  0.0 1.00 0
0.63 0.16 0.12 0.08 0.0  0.0
0.64 0.20 0.21 0.29 0.0  0.0
0.64 0.18 0.18 0.30 0.0  0.0
0.64 0.23 0.22 0.36 0.0  0.0
0.61 0.20 0.23 0.40 0.0  0.0
  5    4              60   65    5
   501   501    709   816   923   1120
 0  0  0  0  0
```

APPENDIX D

Output Data

The output from VBIII has been altered from the previous program. An extra line of output per day has been added, giving water contents of each zone on a percent volumetric basis, k-coefficients and surface water. A table is provided to assist the user in interpreting the output. Table D-1 considers the daily printout as a 20 column table with one or two lines per day. The second line is optional, depending on whether soil moisture contents are expressed on a percent volumetric basis. If soil depths, which are also optional, are not defined volumetric based moisture contents are not calculated. Table D-2 gives a sample of the printout.

VBIII provides a second type of daily output, which is graphical. A simple line-printer plot of soil moisture on a volumetric basis is given for each zone. The symbols representing each zone are integers 1 to 6 for zones 1 to 6, respectively. The dates (left hand columns) and daily precipitation (right hand column) are included in the plot. Table D-3 illustrates the plot for four zones. Hand drawn lines joining the zone number symbols illustrate the plotted water contents.

The plot option is controlled by parameters on Input Control 10. The scale of the soil moisture axis is controlled by SCL. The default, when SCL is zero, is one character per one percent volumetric. The number of characters which represent each percent volumetric water content is expanded by a factor of 1.+SCL. The time scale is controlled by IHOR, which indicates the number of extra lines per day, or lines skipped between days. When IHOR = 0, no lines are skipped. To effectively use the plot option, the output unit for the plot (IP) must be different from the output unit for daily printouts (NP) (see Input Control 1). When no zone depths (OBDPTH) are specified, no plotting is done.

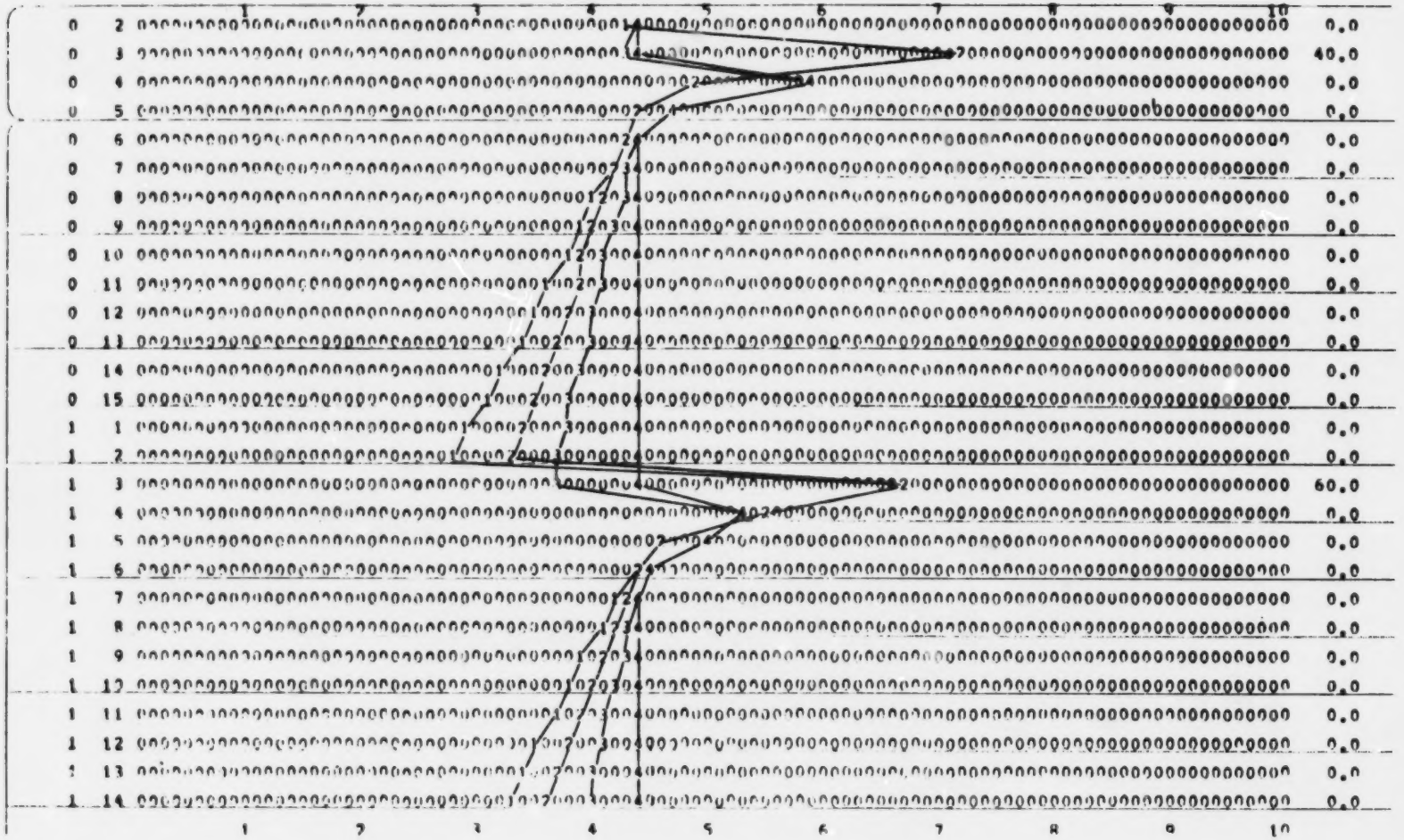
TABLE D-1

Guide to reading output

COLUMN	VARIABLE TYPE	VARIABLE DEFINITION
Line 1		
1	integer	year
2,3	integer	month, day
4	integer	crop stage number
5	real	precipitation (rain or snow)
6,7	real	PE, AE (mm)
8, 13	real	available moisture; zones 1 to 6 (mm)
14, 15	real	runoff, drainage (mm)
16	integer	minimum daily temperature (^{0}C)
17	integer	maximum daily temperature (^{0}C)
18	real	snow pack, can include melt water (mm)
19	real	melt water (mm)
20	real	water collected on the surface (mm)
Line 2		
8, 13	real	soil moisture; zones 1 to 6, expressed on a percent volumetric basis (mm)
15, 20	real	k-coefficients used each day in zones 1 to 6, takes into account k-adjustments

TABLE D-2. Sample daily output

TABLE D-3. Sample line-printer plot using simulated weather data



APPENDIX E. EVAPOTRANSPIRATION COEFFICIENTS (k,Z)

Table E-1. k-coefficients available for several crops and cropping practices

Zone	1	2	3	4	5	6
Stages			Brome grass			
Dormant season	.50	.20	.10	.04	.02	.01
Growing season	.55	.19	.17	.08	.03	.01
			Alfalfa			
SS-FC[a]	.50	.20	.15	.12	.08	.05
FC-1st	.50	.25	.23	.22	.15	.10
1st-FC	.50	.22	.18	.15	.15	.10
FC-2nd	.50	.25	.25	.20	.18	.12
2nd-FC	.45	.25	.20	.20	.20	.15
			Soybean[b]			
P-E[d]	.20	.15	.15	.10		
E-F	.20	.20	.15	.10	.05	.05
F-Pf	.15	.15	.10	.10	.10	.05
Pf-Fe	.15	.15	.20	.20	.15	.10
Fe-M	.10	.15	.20	.15	.10	.10
			Small grain[c]			
P-E or R-P[d]	.40	.15	.12	.10	.02	.01
E-J	.40	.20	.13	.12	.03	.02
J-H	.40	.25	.15	.12	.10	.03
H-S	.40	.30	.20	.15	.10	.05
S-R	.40	.30	.20	.15	.07	.03
			Corn			
P-E[d]	.40	.15	.12	.10	.02	.01
E-T	.40	.20	.13	.12	.03	.02
T-Si	.40	.25	.15	.12	.10	.03
Si-Ee	.40	.30	.20	.15	.10	.05
Ee-H	.40	.30	.20	.15	.07	.03

[a] Symbols used to define stages: SS, start of growing season; FC, full cover; 1st, first cut; 2nd, second cut; P, planting; E, emergence; F, flowering; Pf, pod filling; Fe, end of flowering; M, maturity; R, ripening; J, jointing; H, heading; S, soft dough; T, tasseling; Si, silking; Ee, ear emergence.

[b] Soybean statistics from Ravelo (1978).

[c] Small grain includes wheat, barley, and millet.

[d] Includes fallow or bare soil.

Table E-2.z- tables used in the VB accounting for different moisture release characteristics

A

99.99	50.00	33.00	25.00	20.00	16.66	14.28	12.50	11.11	10.00
9.09	8.33	7.69	7.14	6.67	6.25	5.88	5.56	5.26	5.00
4.76	4.55	4.35	4.17	4.00	3.85	3.70	3.57	3.45	3.33
3.23	3.13	3.30	2.94	2.86	2.78	2.70	2.63	2.56	2.50
2.44	2.38	2.33	2.27	2.22	2.17	2.13	2.08	2.04	2.00
1.96	1.92	1.89	1.85	1.82	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67
1.64	1.61	1.59	1.56	1.54	1.52	1.49	1.47	1.45	1.43
1.41	1.39	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25
1.23	1.22	1.20	1.19	1.18	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11
1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

B

10.00	10.00	8.33	7.50	7.40	7.16	7.00	6.87	6.44	6.00
5.81	5.58	5.38	5.21	5.00	4.75	4.52	4.33	4.16	4.00
3.86	3.73	3.60	3.50	3.40	3.31	3.22	3.14	3.07	2.97
2.90	2.81	2.76	2.68	2.63	2.55	2.49	2.44	2.38	2.33
2.26	2.24	2.18	2.13	2.11	2.06	2.02	1.97	1.94	1.92
1.88	1.85	1.81	1.78	1.76	1.73	1.70	1.67	1.66	1.63
1.60	1.58	1.56	1.53	1.52	1.50	1.47	1.46	1.43	1.41
1.40	1.38	1.36	1.35	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25
1.23	1.21	1.20	1.19	1.17	1.16	1.14	1.13	1.12	1.11
1.09	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

C

1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

D

.00	.00	.00	.00	.20	.16	.14	.13	.11	.10
.09	.16	.15	.14	.13	.13	.12	.17	.16	.15
.14	.18	.17	.21	.20	.19	.22	.21	.24	.23
.26	.25	.27	.29	.29	.30	.32	.34	.36	.35
.36	.37	.37	.39	.40	.41	.43	.46	.47	.48
.49	.50	.54	.56	.56	.59	.61	.64	.66	.68
.70	.76	.79	.83	.85	.91	1.00	1.03	1.16	1.41
1.40	1.38	1.35	1.34	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25
1.23	1.21	1.19	1.18	1.17	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11
1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

continued next page

Table E-2 (continued)

E

.02	.04	.06	.08	.10	.12	.14	.16	.18	.20
.21	.23	.25	.27	.29	.31	.32	.34	.36	.38
.40	.42	.44	.46	.48	.50	.52	.54	.56	.60
.65	.65	.70	.71	.74	.78	.81	.91	1.05	1.25
1.34	1.43	1.63	1.82	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
1.96	1.92	1.89	1.85	1.82	1.79	1.75	1.72	1.69	1.67
1.64	1.61	1.59	1.56	1.54	1.52	1.49	1.47	1.45	1.43
1.41	1.39	1.37	1.35	1.33	1.32	1.30	1.28	1.27	1.25
1.23	1.22	1.20	1.19	1.18	1.16	1.15	1.14	1.12	1.11
1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

F

1.00	.75	.66	.50	.60	.66	.85	1.12	1.44	1.66
1.82	2.33	2.69	3.00	3.33	3.43	3.70	3.89	4.00	4.00
4.00	4.00	4.00	3.91	3.80	3.69	3.59	3.50	3.41	3.33
3.20	3.10	3.00	3.92	2.85	2.77	2.69	2.60	2.55	2.50
2.45	2.37	2.30	2.26	2.22	2.16	2.10	2.07	2.04	2.00
1.95	1.90	1.86	1.83	1.80	1.77	1.75	1.72	1.69	1.66
1.63	1.60	1.58	1.56	1.53	1.51	1.49	1.47	1.45	1.42
1.40	1.38	1.36	1.34	1.32	1.30	1.28	1.27	1.26	1.25
1.23	1.21	1.19	1.18	1.17	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11
1.10	1.09	1.08	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

G

1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43	1.43
1.40	1.38	1.35	1.34	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25
1.23	1.21	1.19	1.18	1.17	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11
1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

H

2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
1.96	1.92	1.88	1.85	1.81	1.78	1.75	1.72	1.69	1.67
1.64	1.61	1.59	1.56	1.53	1.52	1.49	1.47	1.45	1.43
1.40	1.38	1.35	1.34	1.33	1.31	1.29	1.28	1.26	1.25
1.23	1.21	1.19	1.18	1.17	1.15	1.14	1.13	1.12	1.11
1.10	1.08	1.07	1.06	1.05	1.04	1.03	1.02	1.01	1.00

Agriculture
Canada

Research
Branch

Direction générale
de la recherche

Bulletin technique 1984-1F

Le bilan hydrique du sol polyvalent — version trois

Canada

Sur la couverture, les points sur la carte indiquent
les établissements de recherche d'Agriculture Canada.

Le bilan hydrique du sol polyvalent — version trois

J.A. DYER
Section des ressources et de l'environnement
Division de la production végétale
Direction générale du développement régional
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)

A.R. MACK
Section d'agrométéorologie
Institut de recherche sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)

Contribution n° 82-33 de l'I.R.T.

Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
1984

On peut obtenir des exemplaires
de ce bulletin en s'adressant à la
Section d'agrométéorologie
Institut de recherche sur les terres
Direction générale de la recherche
Agriculture Canada
Ottawa (Ontario)
K1A 0C6

Production du Service aux programmes de recherche

©Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1984

N° de cat. A54—8/1984—1F ISBN 0-662-92477-0

Also available in English under the title
The versatile soil moisture budget — Version three

TABLE DES MATIERES

	PAGE
Préface	2
Introduction	3
Evapotranspiration	7
- Extraction par les racines	8
- Correction des coefficients de cultures	9
- Rétention de l'eau du sol	9
- Autres courbes de séchage	12
Infiltration et drainage	12
- Paramètres du taux de drainage	15
Bilan nival	16
- Pertes de neige accumulée	17
- Infiltration des eaux de fonte des neiges	18
Evaluation du rendement au champ	19
Résultats	21
Résumé	25
Bibliographie	25

Annexe A: Programme informatique du BPIII
Annexe B: Programme d'ajustement des paramètres zonaux
Annexe C: Paramètres de contrôle
Annexe D: Données de sortie
Annexe E: Coefficients d'évapotranspiration (k, Z)

PREFACE

L'eau du sol est un facteur essentiel en agriculture, en foresterie et en hydrologie. Elle joue un rôle déterminant dans la croissance des plantes, le rendement des cultures et l'état hydrologique d'une région. Elle conditionne les activités agricoles, les façons culturales, les conditions de récolte, les besoins d'irrigation et les apports d'eau. Pour étudier les variations dynamiques de la teneur en eau des sols, il faut avoir recours à des méthodes d'échantillonnage non destructrices. Ces méthodes doivent fournir de l'information constamment répétée, opportune et fidèle dans toute une gamme de façons culturales et de conditions climatiques, végétatives et physiographiques. Les modèles de simulation informatique se sont avérés une technique efficace d'étude des variations de l'eau du sol.

Divers modèles sur la teneur en eau du sol ont été proposés en tenant compte de plusieurs facteurs biophysiques. Bon nombre de ces modèles s'inspirent de la méthode de budgétisation quotidienne de l'eau du sol. Les bilans hydriques représentent un compromis entre les modèles statistiques et biophysiques. Il sont plutôt semi-empiriques et comptent beaucoup de coefficients d'origine statistique pour caractériser la croissance végétale et les propriétés de rétention d'eau du sol. Ils évaluent la teneur en eau du sol pour les plantes couramment cultivées, pour les conditions normales du sol et pour les données climatiques ou météorologiques facilement disponibles. Le présent document décrit un bilan de ce genre dans ses détails techniques.

Les auteurs tiennent à remercier les nombreux collègues de l'Institut de recherche sur les terres (I.R.T.) pour leur collaboration dans la préparation du présent bulletin. Johanne Boisvert, John Culley, Reinder de Jong, Henry Hayhoe et Wolfgang Baier ont formulé des commentaires sur la révision et des suggestions sur la rédaction. En particulier, les suggestions faites par Johanne Boisvert ont permis d'apporter plusieurs améliorations à l'entrée et à la sortie sur imprimante des données du programme. Pour leur part, Wilbur Sly, Stuart Edey et Wolfgang Baier ont apporté une précieuse contribution par leurs discussions et leurs conseils éclairés au cours des premiers stades d'élaboration de cette troisième version du bilan polyvalent. Lianne Dwyer et Wolfgang Baier, co-auteurs des documents de recherche de base qui ont débouché sur la préparation de cette version, ont également apporté leur contribution. D'autres, comme John Keng, Bob Stewart et Ken Wilkie (Université technique de la Nouvelle-Ecosse) ont également éclairé le débat par des discussions utiles. Les auteurs apprécient finalement la collaboration des informaticiens de la Section d'agrométéorologie.

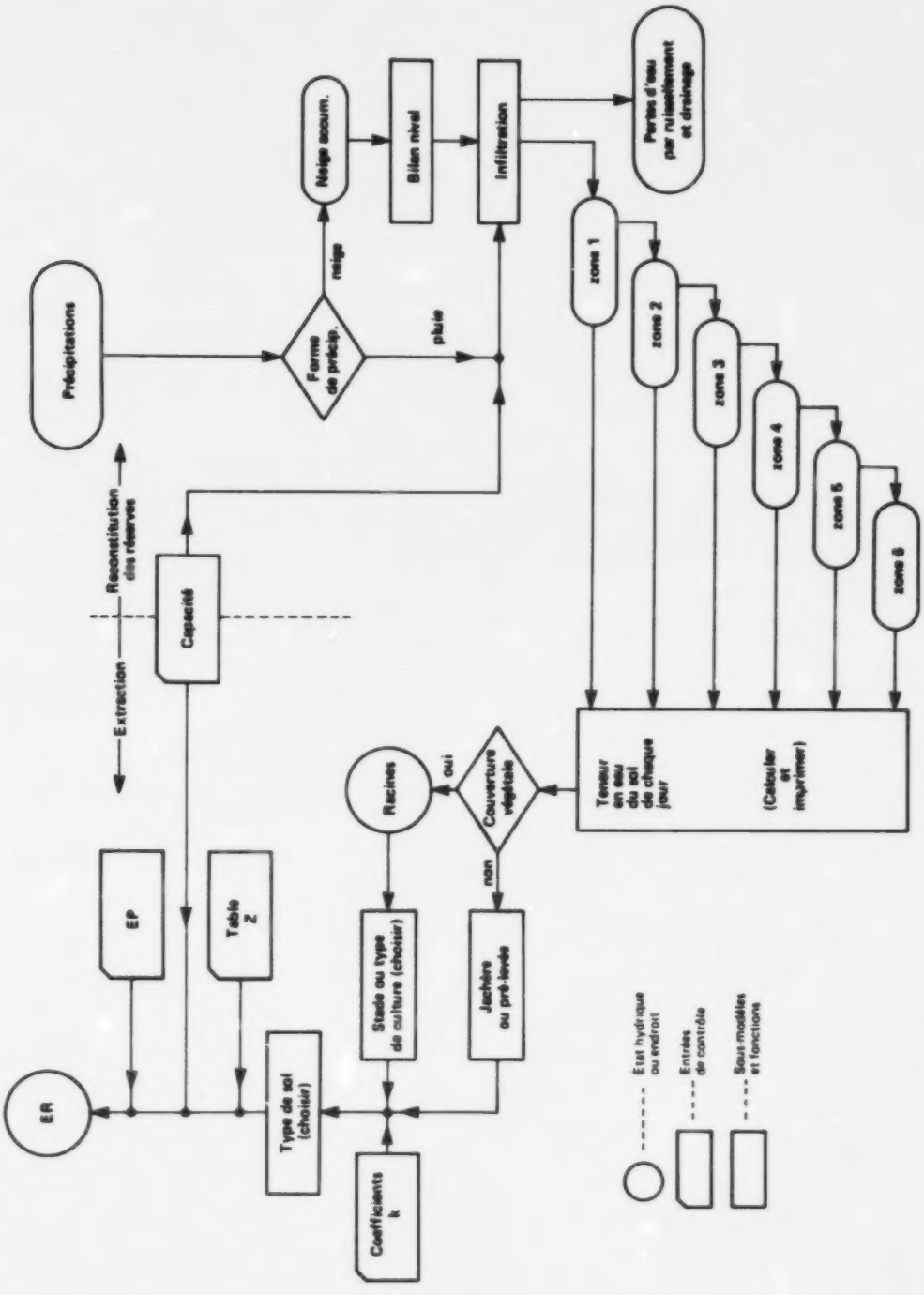


Figure 1 Cycle de l'eau dans le sol, les racines et l'atmosphère (Bilan polyvalent).

EVAPOTRANSPIRATION

La relation fondamentale du séchage utilisée par Baier et Robertson (1966) est encore une fois mise à contribution. Cette relation exprime l'évapotranspiration quotidienne réelle (ER) comme une fonction du taux d'évapotranspiration quotidienne potentielle (EP), de la façon suivante:

$$ER = \sum_{j=1}^{n} k_{ij} \cdot \frac{S_j}{C_j} \cdot Z_j \cdot EP \qquad (1)$$

ER = évapotranspiration réelle d'un jour quelconque

$\sum_{j=1}^{n}$ = sommation effectuée de la zone j = 1 à la zone j = n

k_{ij} = coefficient rendant compte des caractéristiques des sols et des plantes dans la zone j au cours du stade de croissance i

S_j = eau du sol disponible dans la zone j à la lecture matinale de chaque jour

C_j = capacité de rétention de l'eau disponible dans la zone j

Z_j = facteur d'ajustement des types de courbes de séchage des sols

EP = évaporation potentielle de chaque jour

Cette équation permet de puiser l'eau simultanément de toutes les profondeurs et de calculer la diminution quotidienne de la teneur en eau du sol dans chaque zone par suite du séchage. L'aspect qui distingue le plus cette série de modèles d'autres types de modèles de l'eau du sol tient aux coefficients k et Z établis empiriquement pour rendre compte des divers schémas d'extraction par les racines et de rétention d'eau du sol respectivement. Cette relation est ici mise à contribution, mais certaines modifications ont été apportées pour faciliter le choix et l'introduction des coefficients k et Z.

L'une des conditions d'utilisation de ce modèle réside dans l'entrée d'estimations fidèles de l'EP quotidien. Pour la plupart des endroits au Canada où l'enregistrement d'information météorologique se fait depuis des années, ces estimations ont été élaborées à partir de données météorologiques standard et sont prêtes à utiliser dans ce modèle. Des équations générales, fondées sur des techniques de régression, ont été conçues pour évaluer l'EP à partir de diverses combinaisons de données météorologiques disponibles (Baier et Robertson, 1965), mais n'importe quelle technique valable d'évaluation de l'EP peut servir d'entrée au BP.

Extraction par les racines

Chaque coefficient k de l'équation 1 traduit l'activité radiculaire à diverses profondeurs (zones) à différentes époques de la saison de végétation. Les dates de transition entre les stades de croissance des cultures doivent être mises en mémoire pour chaque année. Les coefficients k actuellement en usage ont été déterminés par comparaisons répétées entre la teneur en eau du sol calculée et mesurée, ou ont été estimés de sorte que les taux d'extraction ressemblent au schéma d'enracinement des cultures le plus probable dans les conditions environnementales existantes.

Les coefficients k sont tirés d'une table qui doit faire partie intégrante des entrées de contrôle. La table des coefficients k tient compte de cinq stades de croissance et jusqu'à six zones (ou couches) de sols. Dans les versions précédentes du bilan, ces coefficients ne pouvaient servir qu'à un profil particulier de zonation. Ce schéma exigeait que 5, 7, 5, 12, 5, 25, 25 et 25% de la capacité totale de l'eau disponible aux plantes soient attribuées aux zones 1 à 6 respectivement.

On a récemment établi que les coefficients k peuvent être adaptés à des profils de zonation des sols autres que la série étalon utilisée dans le bilan original (Dyer et Baier, 1980). Dans la même étude, on a constaté que les variations du nombre et de la répartition des zones de sol avaient peu d'effet sur le rendement du bilan. Le programme du BPIII permet donc d'utiliser de deux à six zones. L'Annexe E présente des séries de coefficients k conçues dans les études précédentes pour divers stades de croissance applicables à la zonation particulière susmentionnée. Pour adapter ces tableaux de coefficients k à d'autres profils de zonation, l'usager devrait consulter l'article de Dyer et Baier (1980) ou l'Annexe B qui donne le programme informatique nécessaire pour effectuer ces conversions. Le programme peut également servir à transformer des distributions zonales d'autres paramètres de contrôle comme les propriétés de rétention d'eau.

Dyer et Baier (1980) ont suggéré que les schémas d'enracinement observés pouvaient servir de base à la conception de nouvelles séries de coefficients k applicables à diverses cultures. Dyer et Dwyer (1982) ont comparé certains résultats du BPIII à l'enracinement du maïs en chambre de croissance. Cette étude a révélé qu'il était possible d'utiliser la distribution observée des racines pour obtenir des séries de coefficients k applicables à une culture déterminée. Chaque k_j était relié à la fraction de la masse radiculaire totale retrouvée dans chaque zone (j). De Jong et Shaykewich (1981) ont également utilisé les distributions observées des racines pour déterminer l'absorption d'eau par les plantes de chaque zone de sol. L'expérience en chambre de croissance (Dyer et Dwyer, 1980) a révélé de plus, que les coefficients représentant les distributions des racines dans les conditions du sol bien pourvu d'eau pouvaient être adaptés à des conditions séchardes par l'utilisation d'une méthode de correction décrite dans la prochaine section.

Correction des coefficients de cultures

Dans les comparaisons entre la teneur en eau du sol observée et estimée pour les cultures non irriguées, Baier (1969) a constaté qu'en période de sécheresse, les racines des plantes absorbaient comparativement plus d'eau des couches relativement humides plus profondes qu'elles ne le faisaient lorsque le profil de sol était uniformément humide. L'effet des coefficients k des zones superficielles où l'eau n'est plus ou est moins facilement disponible diminue en accordant plus d'importance aux zones plus profondes où l'eau est encore accessible. Le coefficient k de chacune des zones inférieures augmente donc en fonction de la teneur en eau des zones supérieures respectives, de la façon suivante:

$$k'_j = k_j + k_j \sum_{m=1}^{j-1} k_m \left(1 - \frac{S_m}{C_m}\right) \qquad (2)$$

où k'_j = coefficient k corrigé pour la zone j (j = 2,n)

S_m = eau du sol disponible dans la zone m

C_m = capacité de rétention de l'eau disponible dans la zone m

L'utilisation de cette méthode de correction et la date de son introduction sont facultatives.

La somme des coefficients k pour toutes les zones (à profondeur) est plus forte que pour les périodes de la saison de végétation où le couvert végétal est complètement développé. Ces sommes varient selon les stades de croissance, ce qui rend compte du facteur de variation de la consommation défini par Baier et Russelo (1968) comme le rapport de la consommation de l'eau par une culture bien pourvue d'eau à la valeur d'une surface d'eau unie. Les facteurs de consommation tiennent compte d'une réaction accrue à l'EP à mesure que le feuillage des cultures se développe et que les valeurs de l'indice foliaire augmentent. En conditions de sol bien pourvu d'eau et de couvert végétal complètement développé, l'ER peut dépasser l'EP.

Rétention de l'eau du sol

Les pertes par évaporation de chaque zone ont été reliées à la teneur en eau et aux caractéristiques de rétention d'eau de cette zone. Dans le BP précédent, chaque type de sol est caractérisé par une courbe de séchage introduite dans l'équation 1 par le coefficient Z. Pour ce qui est du bilan hydrique d'une seule couche de sol, Z peut s'exprimer sous la forme du rapport de l'évapotranspiration quotidienne relative (ER/EP) à la teneur en eau disponible relative (S/C). Pour chaque teneur en eau disponible relative, il faut une nouvelle valeur de Z. La figure 2 illustre les courbes conçues et utilisées par Baier et al. (1979) pour décrire les rapports entre ER/EP et S/C.

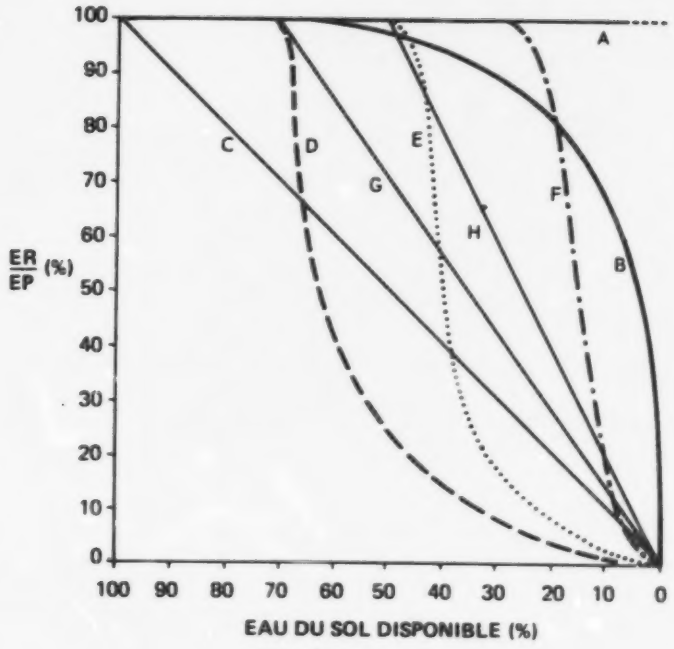


Figure 2 Rapports possibles entre ER/EP et l'eau du sol disponible S/C.

Les séries de Z étaient autrefois introduites dans le bilan sous forme tabulaire qui comprenait une valeur pour chacune de 100 valeurs possibles de S/C. Les soi-disant "tables z" qui correspondent aux courbes illustrées dans la figure 2 apparaissent à l'Annexe E. Chaque table z se compose de valeurs Z qui correspondent à 100 valeurs possibles de S/C allant de 0 à 1. Les tables z avaient plusieurs inconvénients, entre autres ceux de l'augmentation considérable des entrées de contrôle requises et d'une restriction des courbes de séchage disponibles. On a donc élaboré un indice pour généraliser les courbes de séchage. La dérivation de cet indice figure ailleurs (Dyer et Baier, 1979a).

Les courbes typiques de séchage, comme celles illustrées à la figure 2, ont comme caractéristiques communes de maintenir l'évapotranspiration au taux potentiel jusqu'à l'obtention d'une certaine valeur de S/C, pour ensuite permettre la baisse du rapport ER/EP en fonction de S/C. La portion descendante des courbes peut être décrite comme concave vers le haut, linéaire ou convexe vers le bas. La forme générale de l'indice peut donner les trois types de courbes. L'équation caractérisant l'indice s'établit comme suit:

$$Z = \left(\frac{X}{R}\right)^{hmn} \left[\left(\frac{X}{R}\right)^{m} \frac{n}{x} + \left(\frac{R-X}{R}\right)^{n} \frac{m}{R}\right] \qquad (3)$$

où $X = S/C$

et $X \leq R \leq 1$

Tableau 1 Combinaison de paramètres de contrôle utilisés dans l'équation 3 pour produire diverses courbes de séchage.

Forme des courbes	m	n	h	Numéro de la courbe illustrée à la Fig. 3a, b
Concave	1	1	0	(1)
Convexe	1	1	1	(3)
Profondément convexe	1	1	2, 3 ou 4	(4, 5 et 6)
Linéaire	1	0	0	(2)
Potentielle	0	1	0	

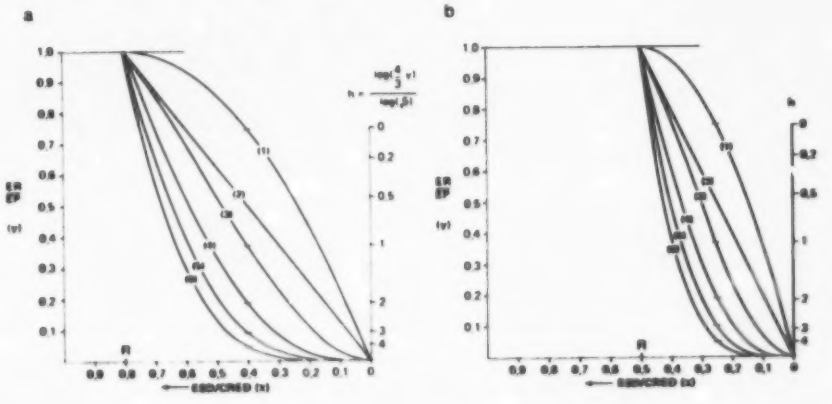


Figure 3 Courbes de séchage obtenues de l'équation 3 pour (a) R = 0,8 et (b) R = 0,5 et une fonction pour h à X = 0,5 R.

Pour utiliser l'indice, les paramètres m, n, h et R doivent être définis. Le type de courbe dépend de m et de n dont la valeur égale soit 0, soit 1. Le degré de courbure descendante dépend de h. La valeur de X, où l'évapotranspiration passe de potentielle vers une fonction de S/C, est égale à R. La figure 3 donne des exemples de courbes possibles pour deux valeurs de R et cinq valuers de h (de 0 à 4). Le tableau 1 résume les paramètres h, m et n que produisent chaque type de courbe.

L'indice peut devenir plus souple en faisant du paramètre de la courbure (h) une fraction. Le paramètre h peut se définir comme une fonction logarithmique de Y, X et R (où Y = ER/EP). Les axes situés à droite de la figure 3 montrent la relation unique qui existe entre h et Y à X = 0,5 R. A partir de ces axes et des valeurs choisies "à mi-chemin" de X dans l'intervalle correspondant à Y décroissant, il devient possible d'estimer h, ce qui permet d'ajuster approximativement la courbe de l'indice à une courbe appropriée pour un type de sol donné. On peut donc obtenir des courbes analogues à celles illustrées à la figure 2. L'utilisation de l'indice entraîne effectivement la création interne de nouvelles tables z.

En dépit de l'introduction de ce nouvel indice, le BPIII peut encore faire usage des tables z utilisées dans les versions précédentes. En règle générale, les courbes qui ressemblent aux courbes D ou G, E ou H, et F de la figure 2 s'appliquent mieux à des sols argileux, de texture moyenne et très grossiers respectivement.

Autres courbes de séchage

Deux tables z peuvent être mémorisées et utilisées par le programme en même temps. Cette caractéristique peut servir de deux façons: (1) Dans les sols hétérogènes affichant deux horizons de texture distincte, une table z peut être appliquée aux zones superficielles et une autre table aux zones plus profondes. Si le sol est homogène, une table z est utilisée pour les six zones. (2) Les relations de la figure 2 dépendent de la présence d'un système radiculaire actif ou de son absence (jachère). Par conséquent, pour simuler la distribution de l'eau du sol dans une rotation culture-jachère, une courbe de séchage (ou table z) peut servir pour les années de culture et une autre peut servir pour les années de jachère. L'Annexe C décrit la méthode utilisée pour ces deux solutions.

INFILTRATION ET DRAINAGE

Le BPIII comprend un nouveau sous-modèle d'infiltration et de drainage pour permettre l'application plus efficace du bilan à la solution des problèmes de surplus d'eau. Le sous-modèle s'inspire d'un simple bilan à deux zones mis au point pour estimer les conditions de travail au champ à l'automne (Dyer et Baier, 1979). L'élément clé tient au fait que le drainage du surplus d'eau (ou de l'eau de gravité) n'est pas immédiat, mais nécessite un ou même plusieurs jours. Une hypothèse de base est que chaque zone peut être remplie à saturation plutôt qu'à simple capacité au champ. Le surplus d'eau ou l'eau de gravité, c'est-à-dire la quantité d'eau entre la capacité au champ et la saturation, peut circuler librement d'une zone à l'autre. Toutefois, seule une certaine fraction peut s'échapper d'une zone superficielle en une seule journée.

Pour simuler la persistance du surplus d'eau près de la surface au fil des jours, l'ordre de succession de sortie et d'entrée de l'eau dans chaque zone est déterminant. Dans le bilan à deux zones (Dyer et Baier, 1979b), l'échappement de l'eau des deux zones s'est effectué avant que la pluie ou de l'eau de surface ne s'ajoute à la zone superficielle, provoquant ainsi un retard d'une journée dans la sortie de l'eau de la zone 1. S'il y a plus de deux zones, le même ordre est suivi, mais les calculs deviennent plus complexes. Le principe du retard d'une journée est maintenu en subdivisant le nombre total de zones en deux couches de drainage. La première couche définit ou comprend la profondeur maximale que l'eau de surface peut infiltrer en une journée.

La figure 4 illustre les étapes du calcul utilisées dans ce sous-modèle pour un bilan à quatre zones. Ce sont (1) la sortie d'eau de la couche de drainage inférieure, (2) la sortie de la couche de drainage supérieure et l'entrée dans la deuxième couche de drainage, (3) l'addition des précipitations à l'eau de surface et la soustraction du ruissellement de surface et (4) l'entrée de l'eau de surface dans la première couche de drainage. Cet ordre de calcul empêche l'eau de surface d'entrer dans la deuxième couche de drainage ou même de la traverser en un jour.

Dans chaque couche de drainage, l'eau de percolation provenant d'en haut est ajoutée en trois étapes. Premièrement, le surplus d'eau saturant n'importe quelle zone de la couche de drainage est considéré comme capable de s'égoutter vers la couche de drainage suivante. Deuxièmement, les déficits en eau disponible aux plantes (en deça de la capacité au champ) sont comblés dans l'ordre descendant à partir du surplus total d'eau provenant d'en haut. Troisièmement, lorsqu'il reste encore un surplus d'eau (plus d'eau de drainage qu'il ne faut pour satisfaire les déficits en eau disponible aux plantes dans toutes les zones de la couche), cette eau est alors répartie uniformément dans les espaces vides excédentaires (capacité au champ à saturation) de toutes les zones de la couche.

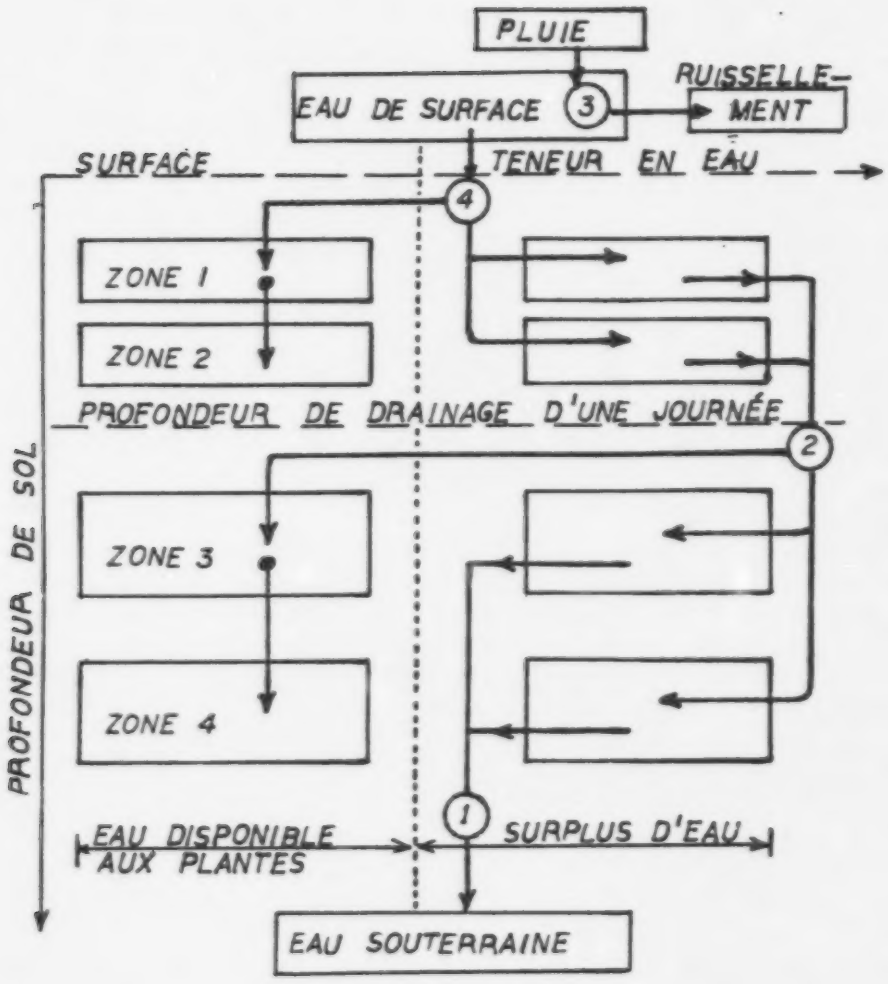


Figure 4 Voie présumée d'infiltration de l'eau de pluie à travers quatre couches de sol.

Paramètres du taux de drainage

Pour appliquer le sous-modèle et caractériser les profils de drainage de divers types de sols, il faut utiliser plusieurs nouveaux coefficients de contrôle dans le BPIII. Ces coefficients comprennent les teneurs en eau à saturation (ou le total d'espaces vides par zone en millimètres), le nombre de zones dans la couche supérieure de drainage et un coefficient de drainage, ainsi que les quantités maximales de drainage. Le taux de drainage définit la fraction du surplus d'eau de la couche 1 qui peut passer dans la couche 2 chaque jour. Cette façon de procéder assure la persistance d'une petite quantité de surplus d'eau dans la couche 1 jusqu'au lendemain.

Trois coefficients régissent la quantité maximale d'eau qui peut dépasser trois points précis dans chaque profil de sol, et ce, chaque jour. Ce sont les volumes d'eau maxima qui peuvent infiltrer la surface (couche de drainage 1), qui peuvent entrer dans la couche de drainage 2 et qui peuvent s'échapper de cette couche. Ces coefficients s'expriment en millimètres d'eau par jour et peuvent représenter des conductivités maximales quotidiennes de l'eau.

La profondeur de la couche 1 définit la pénétration maximale du front de mouillage à partir de la surface en une journée. Puisque le sous-modèle est sensible à l'intervalle entre la capacité au champ et la saturation, le point de flétrissement permanent de chaque zone est également nécessaire pour distinguer la capacité au champ de la capacité de rétention d'eau disponible aux plantes. Les sols peuvent montrer des capacités de rétention d'eau semblables, mais des capacités au champ différentes en raison des points de flétrissement permanents différents. Cette différence influe sur les profils de drainage.

Même si le sous-modèle n'a pas été confronté aux observations de la teneur en eau, la version du budget à deux zones s'est avérée utile pour estimer le nombre de jours durant lesquels les conditions de surface étaient trop détrempées pour permettre le travail au champ (Dyer et Baier, 1979b). On a également évalué le rendement de la fonction dans une série d'essais de sensibilité dont il n'est pas fait mention ici, mais qui ont révélé que les sols de texture fine (plus forte proportion d'argile et de limon) qui sont généralement moins perméables peuvent être le mieux simulés par des profondeurs de drainage d'une journée superficielles (20 cm) et des coefficients de drainage faibles (environ 50%). Pour les sols de texture plus grossière, des profondeurs de drainage de 40 à 60 cm sont plus réalistes, en supposant une profondeur totale de 120 cm et un coefficient de drainage de 80 ou 90%. L'application originale du bilan à deux zones de cette fonction (Dyer et Baier, 1979b) faisait état de 80%. La fonction est également sensible à l'intervalle entre la capacité au champ et la saturation, en particulier pour une capacité au champ relativement élevée. Les usagers ne devraient donc pas oublier que ce nouveau sous-modèle est encore à l'état expérimental.

BILAN NIVAL

Pour certaines applications en climats tempérés, il est nécessaire de calculer une teneur en eau quotidienne du sol pendant toute l'année, en particulier s'il faut une estimation raisonnable au printemps comme point de départ à la budgétisation de l'eau pendant la saison de végétation. Sous les climats où il peut neiger, le calcul de la teneur en eau du sol exige d'obtenir la quantité d'eau qui pénètre dans le sol à partir de la fonte des neiges. Un simple bilan nival a donc été conçu dans la version précédente (Baier et al., 1979). Le bilan utilisé ici n'en diffère que peu, mais les paramètres de contrôle ont été modifiés.

Les entrées nécessaires pour le bilan nival sont la température quotidienne maximale et le total des précipitations. Puisque la forme de précipitation n'est pas définie dans les données météorologiques quotidiennes utilisées ici, une partie du sous-modèle nival sert à déterminer la forme de précipitation. La forme neige n'est pas présumée à moins que la température quotidienne maximale ajustée (Amax) ne dépasse pas un seuil déterminé. La fonction d'ajustement binomiale de cinq jours utilisée dans le bilan précédent à été remplacée par une fonction de trois jours.

$$Amax_i = (3Tmax_i + 2Tmax_{i-1} + Tmax_{i-2}) / 6 \qquad (4)$$

où i = jour et Tmax = température quotidienne maximale.

Ce changement signifie que les températures des deux jours avant ceux des calculs ne sont plus nécessaires comme elles l'étaient dans la version précédente.

A l'automne et au début de l'hiver (1er juillet au 31 décembre), les précipitations sont censées prendre la forme de neige si Amax < le seuil 1. La neige s'accumule donc au sol jusqu'à ce que Amax soit $\geq$ au seuil 1; à ce moment les eaux de fonte des neiges pénètrent dans le sol. A la fin de l'hiver et au printemps (1er janvier au 30 juin), les précipitations sont censées prendre la forme de neige si Amax < le seuil 2 et elle s'accumule alors au sol. Les seuils de température pour le Canada ont été déterminés par l'utilisation de divers seuils en passages-machines répétés pour comparer les averses de neige estimatives et observées. On a ainsi constaté que les précipitations pouvaient se faire sous forme de neige lorsque la température quotidienne maximale était inférieure aux seuils figurant au tableau 2. On a également découvert dans l'élaboration de ce sous-modèle que les possibilités que ce soit de la neige étaient plus grandes sous les climats plus froids et moins humides, et ce dans la même amplitude de températures ambiantes, résultat que réflètent les seuils plus élevés des climats plus froids présentés au tableau 2.

La fréquence d'averses de neige pour des températures de surface plus élevées au printemps témoigne de la différence saisonnière dans les gradients thermiques verticaux. Au printemps, lorsque le rapport du rayonnement solaire incident au rayonnement terrestre ascendant est généralement plus élevé qu'à l'automne, les gradients thermiques verticaux sont plus abrupts et les conditions sont moins stables. Ainsi, les chances que les précipitations atteignent les surfaces sous forme de neige plutôt que de pluie augmentent d'autant. Le phénomène se réflète dans l'utilisation de seuils de température plus élevés pour le printemps, ce qui signifie que les précipitations prennent plus souvent la forme de neige. Dans l'ouest du Canada, les seuils sont plus

Tableau 2 Seuils de température maximale pour la neige.

Région	Seuil 1 juillet-décembre	Seuil 2 janvier-juin
FROID		
Centre de la Colombie-Britannique	5°C	7°C
Prairies		
CHAUD		
Sud de la Colombie-Britannique	1°C	2°C
Ontario		
Québec		
Provinces de l'Atlantique		

élevés parce qu'une plus grande partie des précipitations tombe sous forme de neige en raison du réchauffement de surface relativement plus considérable et de la présence de masses d'air moins stables.

Les précipitations de neige sont également restreintes à une période s'écoulant entre une date précise à l'automne et une autre au printemps. Ces deux dates limites constituent des paramètres de contrôle qui doivent être inclus dans le programme.

Pertes de neige accumulée

Seule une fraction des averses de neige pénètre réellement dans le sol après la fonte des neiges puisqu'une grande partie de la neige est emportée par le vent, s'évapore ou, une fois fondue, ruisselle en surface. L'enneigement diminue aussi quotidiennement d'un volume égal à l'EP. Pour décrire la neige qui reste au sol après déduction de la partie ventée, le coefficient nival a été défini. Les deux coefficients les plus largement utilisés sont 0,7 pour les champs couverts de chaume et 0,5 pour les jachères. Ces valeurs qui indiquent la fraction de neige qui reste au sol après la perte de la neige ventée ont été élaborées par passages-machines répétés dans lesquels les coefficients nivaux ont été modifiés jusqu'à ce que les estimations se rapprochent le plus possible des mesures de la teneur en eau disponible au printemps. Dans les régions où la neige ventée ne pose pas de problème sérieux, des valeurs plus élevées peuvent être utilisées.

Le modèle prévoit l'utilisation d'un autre coefficient nival si les conditions de la surface du sol changent d'une année à l'autre. Ce genre de situation survient dans un système de rotation blé-jachère caractérisé par des champs couverts de chaume au cours du premier hiver et par une jachère au cours du second hiver. Si, le 1er juillet, le stade de croissance de la culture dépasse celui de la pré-levée ou jachère, la culture est prise pour acquis pour l'année en cause et le premier coefficient nival est alors utilisé. Autrement, c'est la jachère qui est considérée comme acquis et c'est alors le second coefficient qui est utilisé. La date du 1er juillet a été choisie comme le milieu de la saison de végétation pour l'hémisphère nord. Dans le BPIII, le 1er juillet peut être remplacé par une date choisie par l'usager. Cet élément a pour but de permettre une modification du taux d'accumulation de neige en milieu d'hiver.

Le choix des coefficients dépend généralement de la couverture végétale au sol au cours de l'hiver et du stade de croissance. Lorsque la croissance (ou le couvert végétal) est prise pour acquis, le premier coefficient est alors utilisé. Dans certains cas (comme pour une culture vivace), la croissance peut être absente en dépit de la présence d'une couverture végétale au sol en hiver; les deux coefficients seraient alors de 0,7. Dans le cas d'un travail du sol à l'automne, il y aurait croissance en été, mais aucun couvert végétal en hiver; les deux coefficients seraient alors de 0,5. Même si ce système a d'abord été conçu pour la rotation blé-jachère, il peut être adapté à bon nombre de façons culturales.

Infiltration des eaux de fonte des neiges

Les facteurs retenus pour évaluer la contribution de la neige à la teneur en eau du sol sont le taux de fonte de la neige, la rétention des eaux de fonte dans la neige accumulée et le taux de pénétration des eaux de fonte dans le sol gelé ou partiellement dégelé. Le taux de fonte de la neige est relié à la température de l'air et à l'époque de l'année. Une série de quatre courbes de fonte de la neige a été définie par McKay (1964) pour quatre amplitudes de température, soit 0 à 2,8, 2,8 à 5,6, 5,6 à 8,3 et au-dessus de 8,3°C.

Auparavant, des constantes empiriques représentant chaque mois et chacun des quatre intervalles de température étaient des entrées de contrôle nécessaires pour calculer la fonte quotidienne de la neige. Dans le BPIII, les valeurs mensuelles de la fonte tributaires de la température sont calculées par une méthode externe puis emmagasinées sous forme de données internes, de sorte que l'équation McKay (1964) utilisée dans la version précédente n'apparaît pas dans le BPIII. On établit une moyenne des taux de fonte du début et de la fin de chaque mois avec ceux des mois précédents et suivants respectivement. Cet ajustement est rendu nécessaire puisque les valeurs quotidiennes de fonte de la neige ne sont plus calculées ni emmagasinées.

Le terme "fonte" est ainsi restreint au point qu'il ne peut dépasser la teneur en eau totale disponible de l'enneigement. La neige accumulée est considérée capable de retenir 15% de son volume sous forme d'eau de fonte. La fonte doit donc dépasser ce seuil avant qu'une quantité quelconque d'eau ne puisse être considérée comme avoir atteint le sol. Lorsque la température quotidienne maximale est inférieure à 0°C, la proportion d'eau de fonte retenue dans la neige est comptée de nouveau comme partie intégrante de celle-ci. L'eau de fonte qui atteint le sol est censée y pénétrer par le processus normal d'infiltration. A l'automne, le lendemain de la date désignée où Amax est < le seuil est considéré comme le point de départ du bilan hivernal. Si la température maximale est inférieure à -6,7°C, l'eau de fonte précédente est considérée comme gelée dans les couches supérieures du sol, modifiant ainsi la pénétration et le ruissellement des futures eaux de fonte. Dans le BPIII, le taux réduit d'infiltration des eaux de fonte est relié à la fraction de l'espace vide excédentaire non rempli dans la couche supérieure de drainage (d'un jour). On suppose que le taux de drainage est retardé par le gel. Cette variable est simulée dans le BPIII par la réduction du coefficient du taux de drainage.

EVALUATION DU RENDEMENT AU CHAMP

On a comparé le rendement du BPIII aux observations de la teneur en eau du sol effectuées dans un certain nombre de sols cultivés en luzerne pendant trois ans (1966 à 1968) dans le sud-ouest de l'Ontario. Ces données ont été compilées par Selirio et al. (1978) à l'Université de Guelph. Trois emplacements ont été choisis et représentent trois textures de sols différentes. Le modèle a été passé en machine à l'aide des données prélevées des stations météorologiques avoisinantes, soit celles de Delhi, Woodstock et Kolher qui représentent le sable loameux Fox, le loam limoneux Embro et l'argile Haldimand respectivement. L'application du modèle a démarré le jour de la première observation, en utilisant comme valeurs de départ des teneurs en eau du sol équivalentes à la première série d'observations. Les zones utilisées dans le bilan étaient égales aux six couches d'observation. Les coefficients radiculaires (k) présentés par Baier et al. (1979) pour la luzerne (Annexe E) ont été adaptés aux zones utilisées ici par la technique décrite par Dyer et Baier (1980).

Le niveau d'eau maximal possible (mm) ou le niveau de saturation (Sat) de chaque zone a été calculé à partir de la densité apparente (bd) et de la densité particulaire (gd) mesurées, de la façon suivante:

$$Sat = \frac{gd - bd}{gd} \times (\text{épaisseur de la zone}) \qquad (5)$$

La capacité au champ et le point de flétrissement permanent de chaque zone sont fondés sur des mesures prélevées aux divers emplacements. Les capacités au champ, les points de flétrissement permanent et les densités apparentes, en plus des observations sur la texture des sols et sur les teneurs en eau quotidiennes, ont été présentés par Selirio et al. (1978). Le tableau 3

résume les points de flétrissement permanent, les capacités au champ et les niveaux de saturation utilisés ici, en plus des paramètres ayant servi dans l'équation 3 à produire des courbes de séchage. Les propriétés de rétention d'eau et les coefficients k ont été transformés en fonction de la profondeur d'observation par le programme présenté à l'Annexe B.

Tableau 3 Propriétés de rétention d'eau utilisées pour comparer les estimations du BPIII aux observations des teneurs en eau du sol de trois emplacements.

Zones	1	2	3	4	5	6
Profondeur[1] (cm)	15,0	30,0	46,0	61,0	91,0	152,0
Point de flétrissement permanent (mm)						
Sable loameux Fox	5,1	6,6	4,4	6,8	13,9	19,7
Loam limoneux Embro	11,0	12,0	13,0	14,0	40,0	60,0
Argile Haldimand	12,5	19,5	21,0	21,5	45,0	88,7
Capacité au champ (mm)						
Sable loameux Fox	12,7	16,4	9,7	12,7	26,1	50,4
Loam limoneux Embro	42,0	35,9	42,2	44,3	97,4	175,8
Argile Haldimand	42,4	44,5	47,1	45,0	93,0	180,5
Saturation (mm)						
Sable loameux Fox	41,8	54,1	37,2	90,3	194,3	348,1
Loam limoneux Embro	59,4	65,0	63,4	65,2	100,6	343,4
Argile Haldimand	90,0	76,3	82,0	70,2	139,5	259,4

	Paramètres de la courbe de séchage (z)			
	m	n	h	R
Sable loameux Fox	1	1	1,0	0,5[2]
Loam limoneux Embro	1	1	0,2	0,7
Argile Haldimand	1	1	1,0	0,6

[1]Au fond de chaque zone

[2]Modifié à 0,6 dans la zone 6

RESULTATS

Les figures 5, 6 et 7 présentent des estimations de la teneur en eau du sol comparées aux observations effectuées le plus près possible de la fin de chaque stade de croissance. Seules les trois zones de sol supérieures sont illustrées, ce qui représente une profondeur de 45 cm, puisqu'il y avait très peu de variation en dessous de la troisième zone. Ces comparaisons ne se veulent qu'une démonstration puisque la précision du BPIII est restreinte par un certain nombre de limitations dans les observations utilisées. Par conséquent, il n'apparaît qu'un nombre limité de comparaisons et aucun test statistique n'a été effectué. Les comparaisons ont été présentées pour permettre aux usagers d'évaluer le rendement escompté du BPIII.

La limitation la plus importante provient de l'utilisation de données météorologiques à partir de stations météorologiques situées à plusieurs kilomètres des emplacements d'observation de la teneur en eau. Or, il était bien connu que le régime pluviométrique différait largement tant en fréquence qu'en volume, puisque Selirio et al. (1978) présentaient certains relevés de précipitations à chaque emplacement. Ces différences expliquent largement la dispersion des comparaisons dans les zones supérieures (figure 5).

Les estimations du BPIII sont restreintes aussi par l'utilisation de caractéristiques mesurées de rétention d'eau du sol (énumérées au tableau 3) qui semblent incompatibles avec les observations des teneurs en eau. Par exemple, l'intervalle des teneurs en eau observées est constamment plus élevée que l'amplitude observée du point de flétrissement permanent à la capacité au champ, et ce, même durant les périodes dépourvues de fortes pluies. La plupart des estimations se situent entre la capacité au champ et le point de flétrissement permanent, ce qui a eu pour effet de localiser les comparaisons en dessous de la ligne du rapport 1/1 dans les trois zones (figures 5 à 7).

Malgré ces inconvénients, il semble exister une correspondance raisonnable entre les observations et les estimations. Les différences attribuables aux types de sols sont réalistes. Le taux de diminution des teneurs en eau estimatives avec le temps correspondent également aux réductions observées. La meilleure correspondance semble intéresser la zone 3 dans les deux sols de texture plus fine.

Dans la version précédente du BP (Baier et al., 1979), les résultats d'un certain nombre d'essais de validation au champ ont révélé que le BP s'avérait assez efficace sous les climats semi-arides en conditions de déficits hydriques. Il n'a pas paru nécessaire de présenter encore une fois ces résultats.

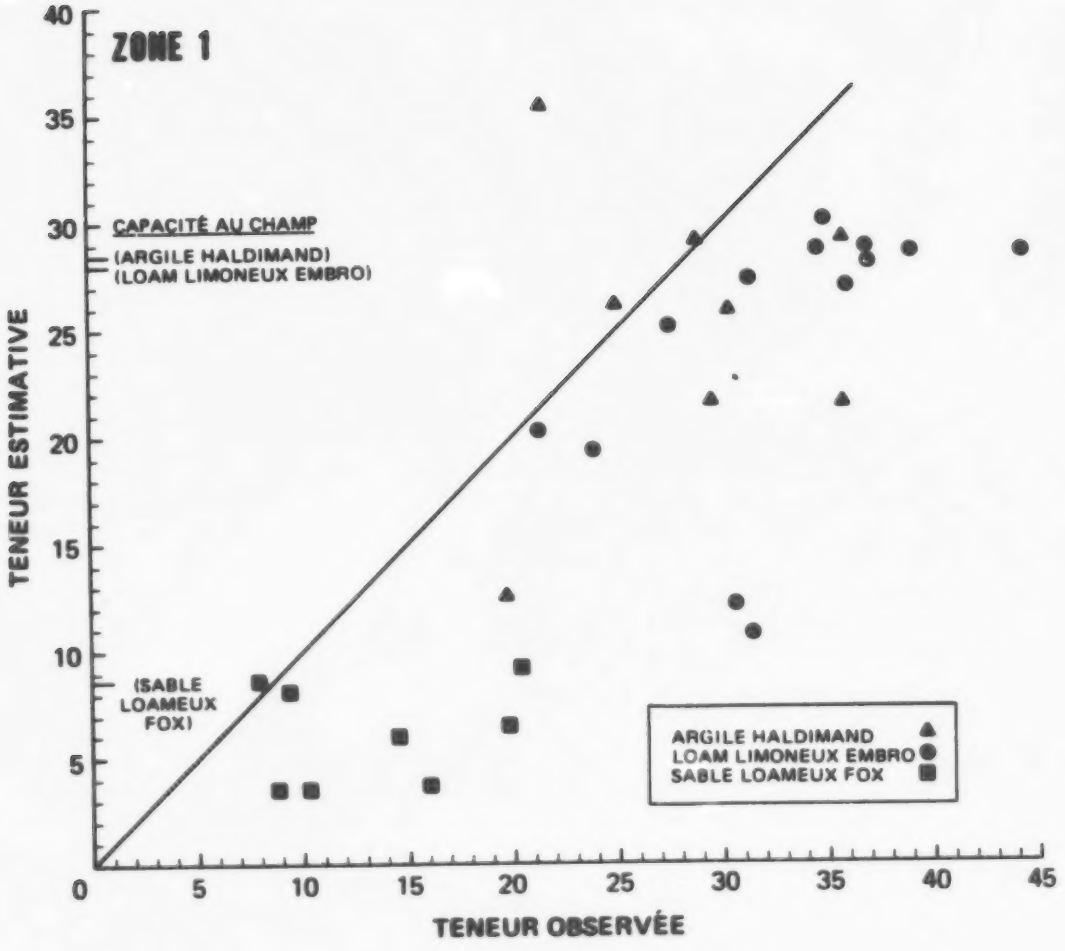


Figure 5 Comparaison des teneurs en eau du sol estimatives et observées (% volumétrique) dans les 15 premiers centimètres du sol à trois emplacements.

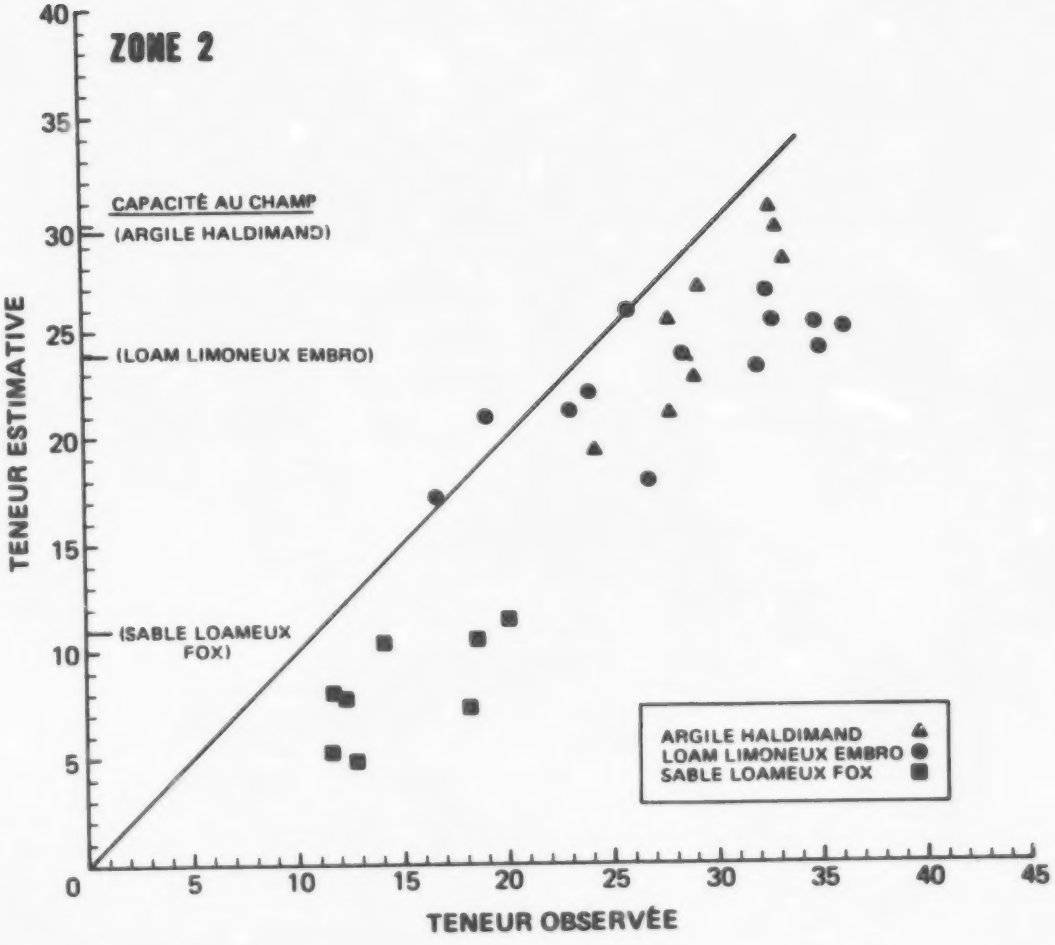


Figure 6 Comparaison des teneurs en eau du sol estimatives et observées (% volumétrique) dans la couche de 16 à 30 cm du sol à trois emplacements.

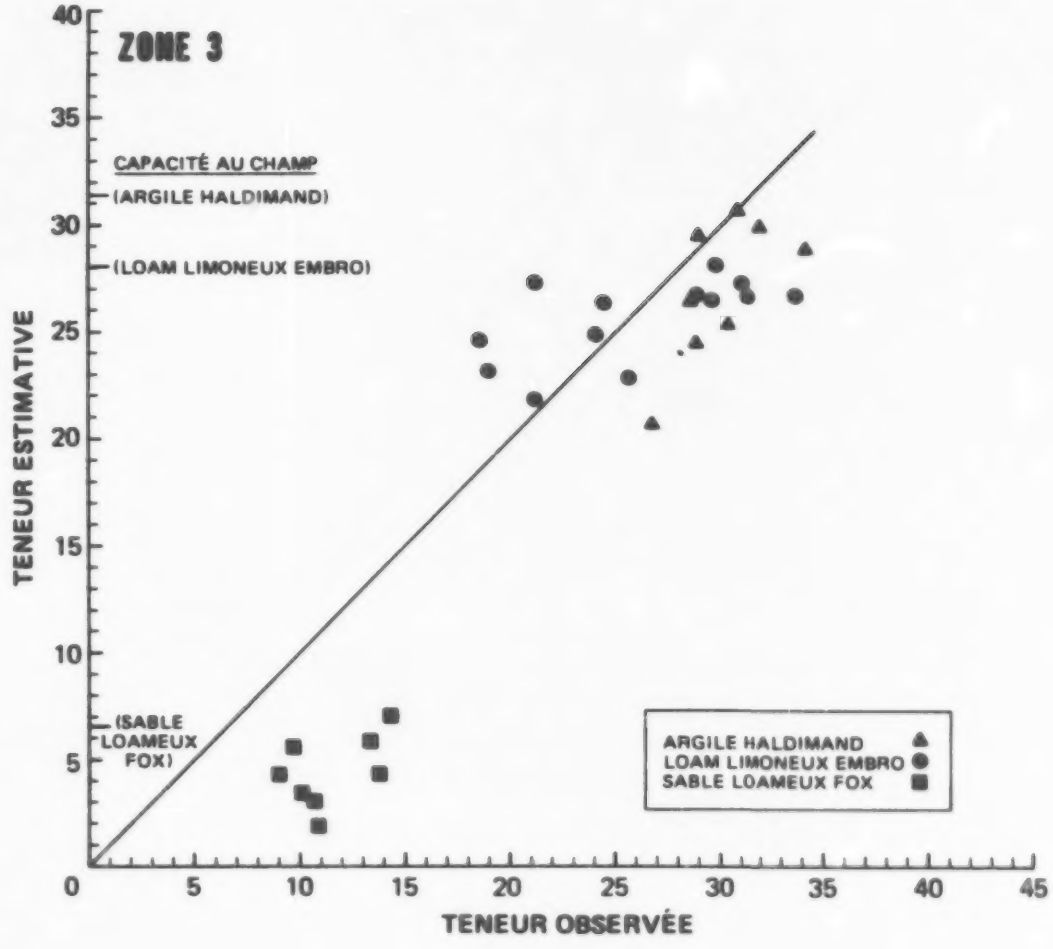


Figure 7 Comparaison des teneurs en eau du sol estimatives et observées (% volumétrique) dans la couche de 31 à 46 cm du sol à trois emplacements.

RESUME

Le concept de budgétisation de la teneur en eau du sol a joué un rôle important dans la modélisation et la prédiction de la consommation d'eau du sol par les végétaux. Ce concept gagne en popularité. Les schémas de prédiction de la teneur en eau du sol et des rendements des cultures, basés sur les bilans hydriques, deviennent de plus en plus acceptés et utilisés. A mesure que le nombre d'applications augmente, le besoin d'amélioration en matière de souplesse et d'applicabilité augmentera également. Comme exemple, citons l'application du concept aux problèmes de surplus d'eau. La restriction des taux de drainage dans les zones inférieures pour simuler les effets de la nappe phréatique, comme l'ont fait De Jong et Shaykewich (1981), pourrait s'avérer une expansion utile du sous-modèle de surplus d'eau près de la surface décrit ici. L'éventail des cultures nécessitant des estimations de l'utilisation d'eau du sol est maintenant plus large que lors de la conception du BP original. Un facteur tenant compte de l'évaporation à la surface du sol, distinct de l'extraction par les racines, comme l'ont proposé Dyer et Dwyer (1982), pourrait stimuler la découverte de nouveaux coefficients radiculaires. On a également besoin de bilans plus simples. En effet, il arrive souvent qu'on ait besoin d'un moins grand nombre de zones de sol et qu'un ou plusieurs sous-modèles, comme le bilan nival, pourraient être laissés de côté.

Nous sommes d'avis que la version du BP décrit ici permettra d'assurer la souplesse nécessaire à certaines des nouvelles applications. Celles-ci peuvent offrir des possibilités additionnelles de comparaison avec les observations sur le terrain. En rendant disponibles les détails techniques du BPIII, nous espérons le faire utiliser et évaluer par d'autres chercheurs.

REFERENCES

Baier, W. 1969. Observed and estimated seasonal soil water variations under nonirrigated sod. Can. J. Soil Sci. 49:181-188.

Baier, W., and G.W. Robertson. 1966. A new versatile soil moisture budget. Can. J. Plant Sci. 46:299-315.

Baier, W. and G.W. Robertson, 1965. Estimation of latent evaporation from simple weather observations. Can. J. Plant Sci. 45:276-284.

Baier, W., and D.A. Russelo. 1968. A computer program for estimating risks of irrigation requirements from climatic data. Tech. Bull. 59, Agrometeorol. Sect., Plant Res. Inst., Agric. Can., Ottawa, 48pp.

Baier, W., D.Z. Chaput, D.A. Russelo, and W.R. Sharp, 1972. Soil moisture estimator program system. Tech. Bull. 78, Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 35pp.

Baier, W., J.A. Dyer, and W.R. Sharp. 1979. The versatile soil moisture budget. Tech. Bull. 87, Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 52pp.

De Jong, R. and C.F. Shaykewich. 1981. A soil water budget model with a nearly impermeable layer. Can. J. Soil Sci. 61:361-371.

De Jong, R. 1981. Soil water models a review. Land Resource Research Institute. Agriculture Canada. Contribution No. 123. 39pp.

Dyer, J.A. 1980. Fall field workdays in Canada. Tech. Bull. 92, Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ontario. 59pp.

Dyer, J.A., and W. Baier, 1980. The influence of zones in budgeting plant available soil moisture. Can. Agric. Eng. 22:65-70.

Dyer, J.A., and W. Baier. 1979a. An index for soil moisture drying patterns. Can. Agric. Eng. 21:117-118.

Dyer, J.A., and W. Baier. 1979b. Weather-based estimation of field workdays in fall. Can. Agric. Eng. 21:119-222.

Dyer, J.A., and L.M. Dwyer. 1982. Root extraction coefficients for soil moisture budgeting derived from measured root densities. Can. Agric. Eng. 24(2):81-86.

Dyer, J.A., W. Baier, H.N. Hayhoe, and G. Fisher. 1978. Spring field workday probabilities for selected sites across Canada. Tech. Bull. 86. Agrometeorology Section, Research Branch, Agriculture Canada, Ottawa, Ont. 93pp.

Edey, S.N. 1980. SMEP - An approach to areal assessment of soil moisture reserves in the prairie provinces. Canada Agriculture. 25(2):26-29.

Holmes, R.M., and G.W. Robertson. 1959. A modulated soil moisture budget. Mon. Weather Rev. 87:101-106.

McKay, G.A. 1964. Relationships between snow survey and climatological measurements for the Canadian Great Plains: prepared for the Western Snow Conference, Nelson, B.C. 19pp.

Selirio, I.S. and D.M. Brown. 1979. Soil moisture-based simulation of forage yield. Agric. Meteorology. 20:99-114.

Selirio, I.S., D.M. Brown and K.M. King. 1978. Soil moisture observations in Southern Ontario, 1966-1968. Univ. of Guelph, Ontario Agricultural College, Dept. Land Resource Sci., Tech. Memo. 78-2. 44pp.

Thornthwaite, C.W., and J.R. Mather. 1955. The water balance. Climatology VIII(1): Drexel Inst. of Technol., N.J. 104pp.

ANNEXE A

PROGRAMME INFORMATIQUE DU BPIII

Voici une liste du programme informatique du BPIII. Ce programme est une version révisée de l'ancien programme BP, et non un nouveau programme, de sorte que sa conception, sa structure et bon nombre de ses noms de variables sont demeurés inchangés. La façon dont le programme est établi pour lire et écrire les unités métriques reste également la même. L'ordinogramme présenté à la figure A-1 a pour objet d'aider l'usager à interpréter l'ordre de calcul et les options de reprise de cette version.

Les noms des variables utilisés dans le corps du texte pour étudier les algorithmes de base ne sont pas les mêmes que ceux utilisés dans le programme Fortran. Aux fins d'études, les noms de variables simples à un caractère sont généralement plus appropriés et plus faciles à suivre que les noms de code Fortran qui font souvent appel à quatre caractères ou plus. Dans la mesure du possible, les noms des variables dans le texte ont été choisis de façon à tenir compte des renvois bibliographiques les plus pertinents aux travaux antérieurs. Le tableau ci-dessous permet de convertir les noms des variables du corps du texte en noms de code du programme.

Les auteurs sont conscients du fait que le programme comme tel a besoin d'être rationalisé. Le présent document a pour objet de rendre disponible une version expérimentale du BP pour permettre à d'autres chercheurs d'utiliser et d'évaluer les plus récentes additions. L'entrée et la sortie des données sur imprimante nécessitent encore une bonne dose d'efforts par l'usager, mais les formats d'entrée/sortie demeurent dans la mesure du possible semblables au format de la version précédente (Baier et al., 1979). Les Annexes C et D donnent plus de détails sur le format d'entrée et de sortie respectivement.

Tableau A-1 Les noms des variables du programme qui correspondent aux symboles et termes utilisés dans le corps du texte

SYMBOLES ET TERMES	NOMS DES VARIABLES	SYMBOLES ET TERMES	NOMS DES VARIABLES
ER	SUMDEL	Amax	MAXSM
EP	PE OPE	Tmax	MAX, PAX
k	COF, COEFS	Eau de fonte des neiges	DD, AQ
Z	WORK, TABLE 1, 2	Pluie	PRECIP, PCP
S	CONTNT	Ruissellement	RUNOFF
C	CAPAC	Eau de surface	PDL
j	I	Eau souterraine	AYE, EXTD
m	M9	Déficit	X
n	N9		
h	H9		
R	R9		
X	X9, DEL		

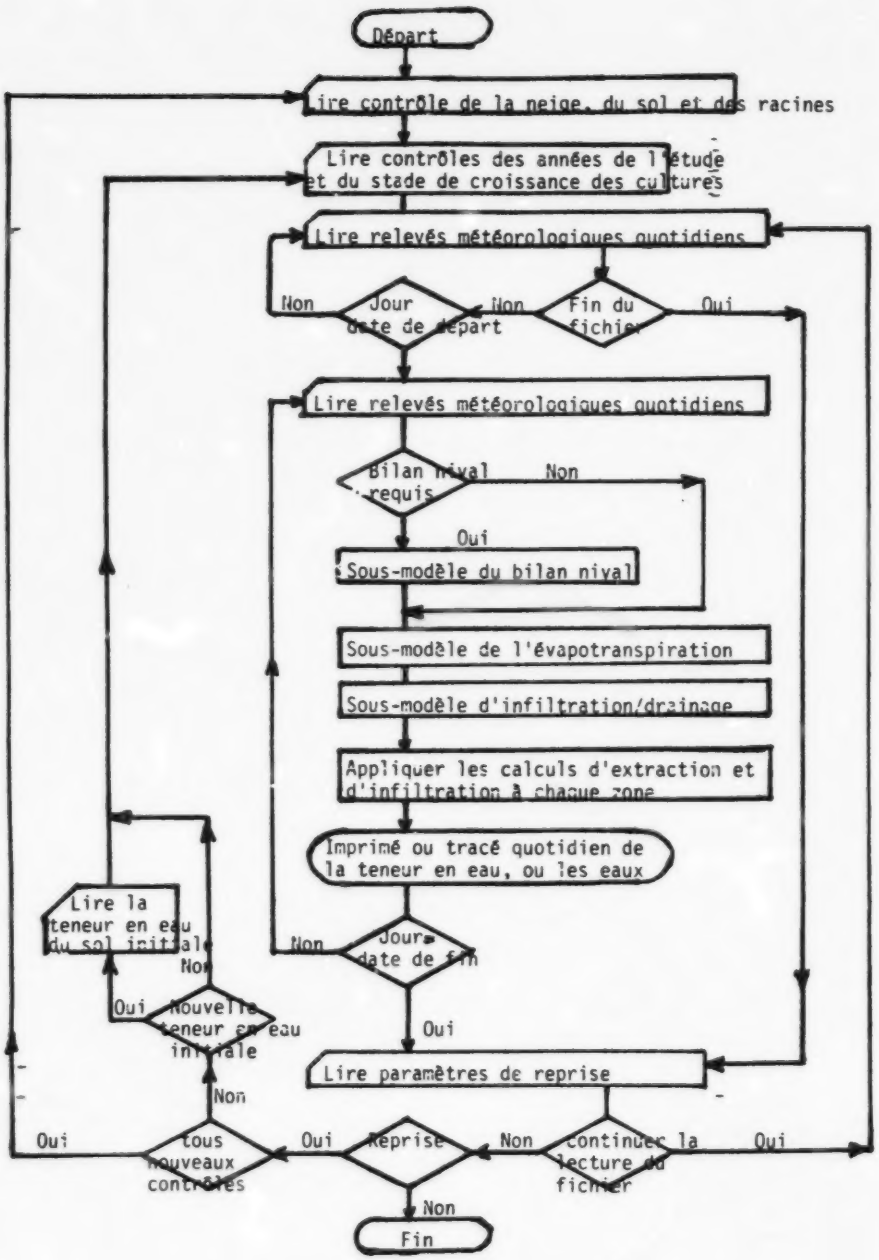


FIGURE A-1 Ordinogramme du BPIII

```
C
C
C     CFV03 - REVISED 8206    - LYNN
C
C     AG507.CFD.PROGRAM.CFVF3
C
C
      DIMENSION PRCW1(6),IPLOT(6),LPLOT(100)
      DIMENSION TABLE1(100),TABLE2(100),D(3),CONTNT(6),COEFS(5,6),X(6)
      DIMENSION IDATES(65),IDENT(5),IDATE(5),PCP(5),PE(5),MAX(5),MIN(5)
      DIMENSION COF(6),DELTA(6),CAPAC(6),CONRST(6)
      DIMENSION EXCAP(6),EXCSW(6),DRN(6),PRMWLT(6),OBDPTH(6)
      DIMENSION HEAD(15),MEAN(5),SMCOF(2),AO(4,14)
      DATA A1,E1,D1,H1,P2,R2,W1/0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0,0.0/
      DATA RUNOFF/0.0/
      DATA AO/0.00,0.04,0.20,0.32,0.00,0.00,0.12,0.23,0.00,0.04,0.22,0.3
     19,0.00,0.30,0.62,0.91,0.22,0.67,1.16,1.59,0.42,0.84,1.38,1.88,0.21
     2,0.42,0.69,0.94,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.00,0.03,0.13,
     30.21,0.32,0.36,0.27,0.42,0.65,0.01,0.18,0.34,0.53,0.00,0.04,0.20,0
     4.32,0.00,0.00,0.12,0.23/
C
C       DEFINE CONTROL COEFFICIENTS
C
C  NFLE,TSEQ,          RESTART PARAMETERS-BLANK ON 1ST CARD
C  WP,INT,TP           I/O UNITS-DAILY PRINT,WEATHER IN S.M.PLOT
C  ISFL                BEGINNING DATE OF WINTER(SNOW) BUDGET
C  IESG                ENDING DATE OF WINTER BUDGET
C  IFTP                RAIN/SNOW THRESHOLD TEMPERATURE-FALL
C  ISTP                                               -SPRING
C  ISBD                SNOW BLOW CHANGE DATE
C  SMCOF               % SNOWFALL AFTER WIND BLOWING(SNOW COEFFICIENT)
C  AO                  SNOWMELT RATE TABLE
C  DAYSM               DAYS PER MONTH
C  DD(XX)              DAILY SNOWMELT
C  Y9,W9,H9,R9         DRYING CURVE INDEX PARAMETERS
C  KNTROL              ZONES USING 1ST Z-TABLE
C  TABLE1              1ST Z-TABLE (DRYING CURVE)
C  TABLE2              2ND Z-TABLE
C  K                   Z-TABLE READ/WRITE CONTROL
C  CAPAC               AVAILABLE WATER CAPACITY OF EACH ZONE
C  CONTNT(CONRST)      AVAILABLE WATER IN EACH ZONE AT START
C  MRST1,2             MOISTURE RE-INITIALIZE PARAMETERS
C  EXCAP               TOTAL VOID SPACE OF EACH ZONE
C  IRP                 SURFACE WATER AFTER FIRST DAY
C  SSLP                SLOPE/RUNOFF COEFFICIENT
C  DRN                 DRAINAGE RATE AND LIMITS
C  IFRGT               NUMBER OF ZONES WETTED FIRST DAY AFTER RAIN
C  PRMWLT              PERMANENT WILTING POINT
C  OBDPTH              BOTTOM DEPTH OF EACH ZONE(CMS)
C  SCL                 PLOT SCALING FACTOR
C  IHOR                HORIZONTAL FACTOR
C  IZNS                TOTAL NUMBER OF ZONES
C  COEFS               K-COEFFICIENTS(ROOTS)
```

```
C     ISTGES          TOTAL NUMBER OF CROP DEVELOPMENT STAGES                    00000570
C     KS              CROP STAGE FOR K-ADJUSTMENT START                          00000580
C     ISTR            STARTING YEAR                                              00000590
C     NDYR            LAST YEAR OF RUN                                           00000600
C     NSY             CROP STAGES PER YEAR                                       00000610
C     IDATES          CROP DEVELOPMENT STAGE DATES                               00000620
C     IRTN            NUMBER OF YEARS IN ROTATION                                00000630
C                                                                                00000640
C       READING AND WRITING OF TITLE CARD AND GNOT CONTROL                       00000650
C                                                                                00000660
      READ(1,987) NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD                                       00000670
      WRITE(3,987)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD                                       00000680
  987 FORMAT(513,14A4,A1)                                                        00000690
 9997 CONTINUE                                                                   00000700
C                                                                                00000710
C     INPUT SNOW BUDGET CONTROLS                                                 00000720
C                                                                                00000730
      READ(1,3003) ISFL,IESG,IFTP,ISTP,SMCOF,NOSNO,KSNO                          00000740
      WRITE(3,3003)ISFL,IESG,IFTP,ISTP,SMCOF,NOSNO,KSNO                          00000750
 3003 FORMAT(416,6X,2F10.5,215)                                                  00000760
      IF((SMCOF(1)+SMCOF(2)).LE.0.0) NOSNO=1                                     00000770
C                                                                                00000780
C       READING AND WRITING OF SOIL CHARACTARISTIC TABLES                        00000790
C                                                                                00000800
 2070 FORMAT(215,2F10.5,215)                                                     00000810
      READ(1,2070) M9,N9,H9,R9,K,KNTROL                                          00000820
      WRITE(3,2070)M9,N9,H9,R9,K,KNTROL                                          00000830
      IF(KNTROL.LE.0) KNTROL=6                                                   00000840
      IF(M9.GT.1) M9=1                                                           00000850
      IF(N9.GT.1) N9=1                                                           00000860
      IF(M9.GT.0.OR.N9.GT.0) GO TO 2100                                          00000870
      READ(1,9)TABLE1                                                            00000880
    9 FORMAT(10F5.2)                                                             00000890
      GO TO 2090                                                                 00000900
 2100 CONTINUE                                                                   00000910
      M=M9                                                                       00000920
      DO 2080 I=1,100                                                            00000930
      X9=I*0.01                                                                  00000940
      M=M9                                                                       00000950
      IF(X9.GT.R9) M=0                                                           00000960
      IF(X9.GT.R9) N=1                                                           00000970
      Z=(((X9/R9)**M)*M/X9)+((((H9-X9)/R9)**N)*M/R9)                             00000980
      Z=((X9/R9)**(M*N*H9))*Z                                                    00000990
      TABLE1(I)=Z                                                                00001000
 2080 CONTINUE                                                                   00001010
 2090 CONTINUE                                                                   00001020
      IF(K.LT.1) GO TO 2092                                                      00001030
      WRITE(3,9)TABLE1                                                           00001040
 2092 CONTINUE                                                                   00001050
C                                                                                00001060
      READ(1,2070) M9,N9,H9,R9,K                                                 00001070
      WRITE(3,2070) M9,N9,H9,R9,K                                                00001080
      IF(M9.GT.1) M9=1                                                           00001090
```

```
0046                IF(M9.GT.1) M9=1                                          00001100
0047                IF(M9.GT.0.0R.M9.GT.0) GO TO 2101                         00001110
0048                READ(1,9)TABLE2                                           00001120
0049                GO TO 2091                                                00001130
0050          2101  CONTINUE                                                  00001140
0051                M=M9                                                      00001150
0052                DO 2081 I=1,100                                           00001160
0053                X9=I*0.01                                                 00001170
0054                M=M9                                                      00001180
0055                IF(X9.GT.R9) M=0                                          00001190
0056                IF(X9.GT.R9) N=1                                          00001200
0057                Z=(((X9/R9)**M)*L/X9)+((((R9-X9)/R9)**N)*M/R9)            00001210
0058                Z=((X9/R9)**(M*N*H9))*Z                                   00001220
0059                TABLE2(I)=Z                                               00001230
0060          2081  CONTINUE                                                  00001240
0061          2091  CONTINUE                                                  00001250
0062                IF(K.LT.1) GO TO 2093                                     00001260
0063                WRITE(3,9)TABLE2                                          00001270
0064          2093  CONTINUE                                                  00001280
                                                                              00001290
C                                                                             00001300
CCC          READING AND WRITING THE ZONAL CONTENTS AND CAPACITIES            00001310
C                                                                             00001320
0065                READ(1,502) CAPAC                                         00001330
0066                WRITE(3,502)CAPAC                                         00001340
0067          502   FORMAT(6F5.1,5X,2F5.1,I5,10X,2I5)                         00001350
0068                IZNS=6                                                    00001360
0069          1210  CONTINUE                                                  00001370
0070                IF(CAPAC(IZNS).GT.0.0) GO TO 1220                         00001380
0071                IF(IZNS.LE.2) GO TO 1220                                  00001390
0072                IZNS=IZNS-1                                               00001400
0073                GO TO 1210                                                00001410
0074          1220  CONTINUE                                                  00001420
0075                READ(1,502) CONTNT,SASTR,PESTR,MRST1,IDRN,NDRN            00001430
0076                WRITE(3,502)CONTNT,SASTR,PESTR,MRST1,IDRN,NDRN            00001440
0077                IOUT=0                                                    00001450
C                                                                             00001460
CCC          READING AND WRITING SATURATION,DRAINAGE FACTORS ,                00001470
CCC          PERMANENT WILTING POINT AND ZONE DEPTHS(CMS).                    00001480
C                                                                             00001490
0078                READ(1,2399) EXCAP,TRP,SSLP,DRN,IFRST                     00001500
0079                WRITE(3,2399)EXCAP,TRP,SSLP,DRN,IFRST                     00001510
0080          2399  FORMAT(14F5.1,I2)                                         00001520
0081                SSLP=SSLP*.01                                             00001530
0082                TRP=TRP/25.4                                              00001540
0083                READ(1,2388) PRMWLT,CBDPTH,SCL,IHOR                       00001550
0084                WRITE(3,2388)PRMWLT,CBDPTH,SCL,IHOR                       00001560
0085          2388  FORMAT(6F5.1,5X,6F5.1,F5.2,I2)                            00001570
0086                IHOR=IHOR-1                                               00001580
0087                DO 2389 I=1,IZNS                                          00001590
0088                IF(PRMWLT(I).GT.(CAPAC(I)*.95)) PRMWLT(I)=.95*CAPAC(I)    00001600
0089                CAPAC(I)=CAPAC(I)-PRMWLT(I)                               00001610
0090                IF(EXCAP(I).GT.CONTNT(I)) EXCAP(I)=CONTNT(I)              00001620
0091                CONTNT(I)=CONTNT(I)-PRMWLT(I)                             00001630
```

```
0092                EXCAP(I)=EXCAP(I)-(CAPAC(I)+PRMWLT(I))                                  00001630
0093                IF(EXCAP(I).LT.0.0) EXCAP(I)=0.0                                        00001640
0094           2389 CONTINUE                                                                00001650
0095                EXFRNT=EXCAP(1)                                                         00001660
0096                EXTOTL=EXCAP(1)                                                         00001670
0097                DO 2386 I=2,IZNS                                                        00001680
0098                IF(I.LE.IFRNT) EXFRNT=EXFRNT+EXCAP(I)                                   00001690
0099                EXTOTL=EXTOTL+EXCAP(I)                                                  00001700
0100           2386 CONTINUE                                                                00001710
0101                IF(EXTOTL.GT.0.0) GO TO 2378                                            00001720
0102                IFRNT=IZNS                                                              00001730
0103                DO 2377 I=1,IZNS                                                        00001740
0104           2377 EXCAP(I)=CAPAC(I)*2.0                                                   00001750
0105           2378 CONTINUE                                                                00001760
0106                IF(DRN(1).LE.0.0) DRN(1)=EXFRNT                                         00001770
0107                IF(DRN(2).LE.0.0) DRN(2)=DRN(1)                                         00001780
0108                IF(DRN(3).LE.0.0) DRN(3)=DRN(2)                                         00001790
0109                DRS=DRN(4)*.01                                                          00001800
0110                IF(DRS.GT.1.0) DRS=1.0                                                  00001810
0111                IF(DRS.LT.0.2) DRS=0.2                                                  00001820
0112                DRN(2)=DRN(2)/DRS                                                       00001830
0113                DEFCIT=0.0                                                              00001840
0114                SYE=0.0                                                                 00001850
0115                DO 2396 I=1,IZNS                                                        00001860
0116                EXCSW(I)=0.0                                                            00001870
0117                IF(CONTNT(I).GT.CAPAC(I)) EXCSW(I)=CONTNT(I)-CAPAC(I)                   00001880
0118                IF(CONTNT(I).GT.CAPAC(I)) CONTNT(I)=CAPAC(I)                            00001890
0119                IF(EXCSW(I).GT.EXCAP(I)) EXCSW(I)=EXCAP(I)                              00001900
0120           2396 CONTINUE                                                                00001910
0121                PDL=0.0                                                                 00001920
0122                DO 601 I=1,IZNS                                                         00001930
0123                CAPAC(I)=CAPAC(I)/25.4                                                  00001940
0124                PRMWLT(I)=PRMWLT(I)/25.4                                                00001950
0125                UBDPTH(I)=UBDPTH(I)/2.54                                                00001960
0126                EXCAP(I)=EXCAP(I)/25.4                                                  00001970
0127                EXCSW(I)=EXCSW(I)/25.4                                                  00001980
0128           601  CONTNT(I)=CONTNT(I)/25.4                                             00001990
0129                ITP=IFTP                                                                00002000
0130                IFTP=32.+(FTP*9./5.)+.5                                                 00002010
0131                STP=ISTP                                                                00002020
0132                ISTP=32.+(STP*9./5.)+.5                                                 00002030
0133                DO 15 I=1,6                                                             00002040
0134                COF(I)=0.5                                                              00002050
0135                DRN(I)=DRN(I)/25.4                                                      00002060
0136             15 X(I)=0.                                                                 00002070
0137                SNOWCF=SNCOF(1)                                                         00002080
0138                SFCOFF=SNOWCF                                                           00002090
                C                                                                           00002100
                C     READING AND WRITING OF ZONAL COEFS. FOR THE RUN                       00002110
                C                                                                           00002120
0139                READ(1,2) ((COEFS(I,J),J=1,6),I=1,5)                                    00002130
0140                WRITE(3,2)((COEFS(I,J),J=1,6),I=1,5)                                    00002140
0141             2 FORMAT(6E5.2)                                                            00002150
```

```
      DO 3140 I=1,IZNS
 3140 CONRST(I)=CONTNT(I)
 3190 CONTINUE
C
C     READING AND WRITING OF RUN CHARACTARISTICS
C
      READ(1,8) ISIGES,NEW,ISYR,NDYR,NSY
      WRITE(3,8)ISIGES,NEW,ISYR,NDYR,NSY
    8 FORMAT(2I4,8X,3I4)
      IF((ISIGES+ISYR+NDYR+NSY).LT.1) GO TO 252
      NODATE=ISIGES+1
C
C     READING AND WRITING THE CONTROL DATES FOR THE RUN
C
      READ(1,3) (IDATES(I),I=1,NODATE)
      WRITE(3,6)(IDATES(I),I=1,NODATE)
    6 FORMAT(1X,12I6)
    3 FORMAT(12I6)
C
C
      IST=1
      KOUNT=1
      F1=1.
      T1=0.
      T2=0.
      W1=0.
      S2=0.0
      WRST2=0
      WFAC=1.0
      DO 1230 IZN=1,IZNS
      IPLOT(IZN)=IZN
 1230 S2=S2+CAPAC(IZN)
      WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)
      IRTN=IDATES(NODATE)*.0001
      IS=IDATES(1)*.0001
      IRTN=IRTN-IS
      IS=0
      IF(IDATES(1).GT.1300) GO TO 3160
      DO 3150 I=1,NODATE
      IDATES(I)=IDATES(I)+ISYR*10000
 3150 CONTINUE
 3160 CONTINUE
      IF((IDATES(NODATE)-(IRTN*10000)).LT.IDATES(1)) IRTN=IRTN-1
      IRTN=IRTN+1
      ACCSNW=SNSTR*.1
      W1=ACCSNW/25.4
C
C     READING OF DAILY DATA
C
C    IDENT          YEAR
C    IDATE          MONTH/DAY
C    MAX(MAX)       MAXIMUM TEMPERATURE
C    MIN(MIN)       MINIMUM TEMPERATURE
```

```
C     PCP                 PRECIPITATION                                          00002780
C     PE                  POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION                           00002790
C                                                                                00002800
C     TEST OF READING DATA                                                       00002810
C                                                                                00002820
0160        20 CONTINUE                                                          00002830
0161           IF(NRST1.LT.1.AND.NRST2.GT.0) GO TO 22                            00002840
0162           READ(INT,4,END=252)IDENT(3),IDATE(3),PAX,PIN,PCP(3),PE(3)         00002850
0163           IF(ISEN.EQ.99) GO TO 20                                           00002860
0164           IF(PESTR.GT.0) PE(3)=PESTR                                        00002870
0165           PIN=PIN*9./5.+32.                                                 00002880
0166           PAX=PAX*9./5.+32.                                                 00002890
0167           PCP(3)=PCP(3)/25.4                                                00002900
0168           PE(3)=PE(3)/25.4                                                  00002910
0169           MIN(3)=PIN                                                        00002920
0170           MAX(3)=PAX                                                        00002930
0171           MAX(2)=MAX(3)                                                     00002940
0172           MIN(2)=MIN(3)                                                     00002950
0173           IDT=IDENT(3)*10000+IDATE(3)                                       00002960
0174           IF(IDT.EQ.IDATES(1))GO TO 22                                      00002970
0175         4 FORMAT(7X,I2,I4,2F4.1,6X,F4.1,11X,F4.1)                           00002980
0176           GO TO 20                                                          00002990
C                                                                                00003000
0177        22 CONTINUE                                                          00003010
0178           DO 240 I=1,2                                                      00003020
0179           IDENT(I)=IDENT(I+1)                                               00003030
0180           IDATE(I)=IDATE(I+1)                                               00003040
0181           PCP(I)=PCP(I+1)                                                   00003050
0182           PE(I)=PE(I+1)                                                     00003060
0183           MEAN(I)=MEAN(I+1)                                                 00003070
0184           MAX(I)=MAX(I+1)                                                   00003080
0185       240 MIN(I)=MIN(I+1)                                                   00003090
0186           READ(INT,4,END=252)IDENT(3),IDATE(3),PAX,PIN,PCP(3),PE(3)         00003100
0187           IF(PESTR.GT.0) PE(3)=PESTR                                        00003110
0188           PAX=PAX*9./5.+32.                                                 00003120
0189           PIN=PIN*9./5.+32.                                                 00003130
0190           PCP(3)=PCP(3)/25.4                                                00003140
0191           PE(3)=PE(3)/25.4                                                  00003150
0192           IF(PCP(3).GT.99.00) PCP(3)=0.                                     00003160
0193           IF(IDATE(3).EQ.IDRW) RFAC=0.5                                     00003170
0194           IF(IDATE(3).EQ.NDRW) RFAC=1.0                                     00003180
0195           PCP(3)=PCP(3)*RFAC                                                00003190
0196           MAX(3)=PAX                                                        00003200
0197           MIN(3)=PIN                                                        00003210
0198           MEAN(3)=(PAX+PIN)/2.+.5                                           00003220
0199           MDT=MD1+1                                                         00003230
0200           MONTH=IDATE(3)/100                                                00003240
0201           IDAY=IDATE(3)-MONTH*100                                           00003250
C                                                                                00003260
C     IDATES              CROP STAGE DATES (ALL YEARS)                           00003270
C     KOUNT               CROP STAGE DATES COUNTER                               00003280
C     IDT                 YEAR/MONTH/DAY OF DAILY CALCULATIONS                   00003290
C     IST                 CROP DEVELOPMENT STAGE                                 00003300
```

```
0222                  PE=PE(3)                                                          00003310
0223                  IDT=IDATE(3)*1000+IHR(3)                                          00003320
0224               73 IF(IDT.EQ.IDATES(300,I+1))IS1=IS1+1                               00003340
0225                  IF(IST.GT.IS1)SMCOFF=SMCOF(1)                                     00003350
0226                  IF(IST.GT.IS1)IS1=1                                               00003360
0227                  IF(IDATE(3).EQ.IEND)SMCOFF=SMCOF(2)                               00003370
0228                  PRECIP=PCP(3)                                                     00003380
                                                                                        00003390
C                     PREPARING THE BILINEAL SMOOTHING FOR TEMPERATURE                  00003400
                                                                                        00003410
0229                  MAXSM=(MAX(1)+MAX(2)*2+MAX(3)*3)/6.                               00003420
                                                                                        00003430
C                     TESTING TO DETERMINE IF SNOW BUDGET APLIES                        00003440
                                                                                        00003450
0230                  IF(NOSNO.GT.0) GO TO 101                                          00003460
0231                  IF(IDATE(3).GT.ISFL.AND.(IS.EQ.1.OR.MAXSM.LT.IFTP)) GO TO 299     00003470
0232                  IF(IDATE(3).LT.IESG)GO TO 300                                     00003480
0233                  IF(IDATE(3).GT.IESG.AND.IDATE(3).LT.ISFL.AND.ACCSNW.LT.0.01)SMCOFF00003490
                     1=1                                                                00003500
0234                  IF(MAXSM.LT.IFTP.AND.IDATE(3).GT.700) GO TO 300                   00003510
0235                  IF(MAXSM.LT.ISTP.AND.IDATE(3).LT.700) GO TO 300                   00003520
0236                  IF(ACCSNW.GT.0.) GO TO 300                                        00003530
0237                  F1=1.0                                                            00003540
0238                  GO TO 101                                                         00003550
                                                                                        00003560
C                     SNOW BUDGET CALCULATIONS                                          00003570
                                                                                        00003580
0239               299 SMCOFF=SMCOF                                                     00003590
0240               300 IS=1                                                             00003600
                                                                                        00003610
C                     CALCULATE WATER EQUIVELENT OF SNOW PACK AND HOLDING CAPACITY      00003620
                                                                                        00003630
0241                  W1=W1+SMCOFF  *PCP(3)-PE(3)                                       00003640
0242                  IF(W1.LT.0.)W1=0.                                                 00003650
0243                  D1=S2                                                             00003660
0244                  DO 1240 IZN=1,IZNS                                                00003670
0245               1240 D1=D1-CONINT(IZP)                                               00003680
0246                  W1=W1*.15                                                         00003690
                                                                                        00003700
C                     CALCULATE APPLICABLE CURVE AND POTENTIAL DAILY MELT               00003710
                                                                                        00003720
C                     IS                INDICATOR FOR SNOW BUDGET IN EFFECT             00003730
C                     ACCSNW(W1)        SNOWPACK AFTER BLOW-OFF                         00003740
C                     D1                TOTAL DEFICIT (ALL ZONES)                       00003750
C                     S2                TOTAL CAPACITY                                  00003760
C                     W1                MELTWATER RETAINED IN THE SNOWPACK              00003770
C                     AX(P2)            DAILY SPOTMELT                                  00003780
C                     R1(I2)            ACCUMULATED SNOWMELT IN THE SNOWPACK            00003790
                                                                                        00003800
0247                  IF(MAX(3).GT.47)GO TO 310                                         00003810
0248                  IF(MAX(3).GT.42)GO TO 330                                         00003820
0249                  IF(MAX(3).GT.37)GO TO 350                                         00003830
```

```
0250                JF=1                                                          00003840
0251                GO TO 360                                                     00003650
0252              310 JF=4                                                        00003860
0253                GO TO 360                                                     00003870
0254              330 JF=3                                                        00003880
0255                GO TO 360                                                     00003890
0256              350 JF=2                                                        00003900
0257              360 CONTINUE                                                    00003910
C                                                                               00003920
CC    MCKAY SNOWMELT EQUATION                                                   00003930
C                                                                               00003940
0258                I=JF                                                        00003950
0259                J=MONTH                                                     00003960
0260                DD=AQ(I,J+1)                                                00003970
0261                IF (IDAY.GT.22) DD=(AQ(I,J+2)+AQ(I,J+1))*.5                 00003980
0262                IF (IDAY.LT.8) DD=(AQ(I,J+1)+AQ(I,J))*.5                    00003990
0263                P2=DD                                                       00004000
0264                IF(MAX(3).LT.32) P2=0.0                                     00004010
0265                IF(P2.LE.W1)GO TO 380                                       00004020
0266                P2=W1                                                       00004030
C                                                                               00004040
CC      CALCULATE RETENSION AND ACTUAL LOSS TO SNAW PACK                        00004050
C                                                                               00004060
CC      A1              MELTWATER INFILTRATION TO SOIL                          00004070
CC      E1              MELTWATER DRAINAGE OUT OF SNOWPACK                      00004080
CC      R2              SNOWMELT SURFACE RUNOFF                                 00004090
CC      I1              SNOWMELT REFROZEN IN UPPER SOIL                         00004100
CC      D2              TOTAL DEFICIT AFTER MELTWATER INFILTRATION              00004110
CC      F1              HOBBS-KROGMAN MULTIPLIER FOR OVER-WINTER STORAGE POT    00004120
C                                                                               00004130
0267              380 R1=T2+P2                                                  00004140
0268                T2=R1                                                       00004150
0269                E1=R1-H1                                                    00004160
0270                IF(R1.LE.H1)GO TO 435                                       00004170
0271                R1=H1                                                       00004180
0272                T2=H1                                                     00004190
0273              435 IF(E1.LE.0.) E1=0.                                        00004200
0274                IF(E1.GT.P2) E1=P2                                          00004210
C                                                                               00004220
CC      CALCULATE INFILTRATION,RUNOFF AND SOIL MOISTURE DEFICIT                 00004230
C                                                                               00004240
0275                A1=E1                                                       00004250
0276                F1=1.                                                       00004260
0277                I1=0.                                                       00004270
0278                EXFRUT=0.                                                   00004280
0279                DO 1260 I=1,IFRNT                                           00004290
0280                T1=T1+EXCSM(I)                                              00004300
0281                EXFRUT=EXFRUT+EXCAP(I)                                      00004310
0282            1260 CONTINUE                                                   00004320
0283                T1=T1/EXFRNT                                                00004330
0284                IF(IDATE(3).LT.ISEA.AND.IDATE(3).GT.700) T1=0.              00004340
0285                D2=D1-A1                                                    00004350
0286                D1=D2                                                       00004360
```

```
0287                A2=B1-A1                                                    00004370
0288                ACCSNW=0.                                                   00004380
0289                A1=W1-B1                                                    00004390
0290                IF(A1.LE.0.)A1=0.                                           00004400
0291                IF(MAX(3).LT.32) T2=0.                                      00004410
0292                IF(MAX(3).GT.20)GO TO 437                                   00004420
                                                                                00004430
C                   INFILTRATION RATE ADJUSTMENT DUE TO FREEZING OF SOIL        00004440
C                                                                               00004450
0293                F1=1.0-T1                                                   00004460
0294          437   PRECIP=A1                                                   00004470
0295                RUNOFF=A2                                                   00004480
0296                GO TO 141                                                   00004490
C                                                                               00004500
C     SNOW BUDGET ENDS                                                          00004510
C                                                                               00004520
C     CALCULATING EFFECT OF PE DEMAND RATE                                      00004530
C                                                                               00004540
0297          101   MONTH=IDATE(3)/100                                          00004550
0298                ACCSNW=0.                                                   00004560
0299                AVE=0.                                                      00004570
0300                IS=0                                                        00004580
0301                I1=0.                                                       00004590
0302                F1 = 1.                                                     00004600
0303                SMCOFF=1.0                                                  00004610
0304          141   SUMDEL=0.                                                   00004620
C                                                                               00004630
C     COMPUTATION OF THE MOISTURE DEPLETION FROM EACH ZONE                      00004640
C       AVE               TOTAL INFILTRATION                                    00004650
C       RUNOFF            SURFACE RUNOFF                                        00004660
C       DEL               RELATIVE MOISTURE CONTENT OF EACH ZONE                00004670
C       COF               ADJUSTED K-COEFFICIENTS                               00004680
C                                                                               00004690
C                                                                               00004700
0305                IF(ACCSNW.GT.0.) PE(3)=0.                                   00004710
0306                DO 110 I=1,IZ+5                                             00004720
0307                DEL=CONTNT(I)/CAPAC(1)                                      00004730
0308                COF(I)=COEFS(IST,I)                                         00004740
0309                IF(IST.LT.4)GO TO 98                                        00004750
0310                IF(I.EQ.1)GO TO 98                                          00004760
0311                DO 96 J=2,I                                                 00004770
0312                K=J-1                                                       00004780
C                                                                               00004790
C     ADJUSTING  SOIL MOISTURE COEFICIENT FOR STRESS                            00004800
C                                                                               00004810
0313          96    COF(I)=COF(I)+COF(I)*COF(K)*(1.-CONTNT(K)/CAPAC(K))         00004820
0314          98    IG=DEL*100.                                                 00004830
0315                IF(I1.GT.0)GO TO 102                                        00004840
0316                WORK=0.                                                     00004850
0317                GO TO 106                                                   00004860
0318          102   IF(K.GT.6) GO TO 103                                        00004870
0319                IF(I.GT.KNTROL) GO TO 104                                   00004880
0320                WORK=TABLE1(IT)                                             00004890
```

```
      GO TO 108
  104 WORK=TABLF2(IT)
      GO TO 108
  105 IF(IST.EQ.1) GO TO 106
      WORK=TABLE1(IT)
      GO TO 108
  106 WORK=TABLE2(IT)
C
C     COMPUTING OF WATER LOSS FROM EACH ZONE
C
C   DEL           (REDEFINED) AE FOR EACH ZONE
C   AYE(X)        INFILTRATION WATER ALLOCATED TO EACH ZONE
C   SUMDEL        ACTUAL EVAPOTRANSPIRATION(AE) DAILY
C   CONTNT        (REDEFINED) COMPUTED MOISTURE CONTENT OF EACH ZONE
C
  108 DEL=DEL*WORK*PE(3) *COF(I)
      IF(DEL.GT.CONTNT(I))DEL=CONTNT(I)
      DELTA(I)=DEL
  110 SUMDEL=SUMDEL+DELTA(I)
C
C   NEW DRAINAGE FUNCTION NOV. 1982,ADAPTED FROM B337.
C
      ISEC=0
      IY=IFRNT+1
      IZ=IZNS
      IF(IY.GT.IZ) IY=IZ
      EXTTL=0.0
      AYE=PRECIP
      EXF=EXTOTL-EXFRNT
      DO 2300 I=1,IZNS
 2300 X(I)=0.0
      DO 2310 I=1,IFRNT
 2310 EXTTL=EXTTL+EXCSW(I)
      CSAT=DRS(2)
      EXTL=CSAT
      IF(EXTTL.GT.CSAT) EXTL=EXTTL
      IF(EXTTL.GT.CSAT) EXTTL=CSAT
      EXTL=EXTL-CSAT
      EXTL=EXTL+((1.0-DRS)*EXTTL)
      EXTTL=EXTTL*DRS
      EXTO=0.0
      DO 2320 I=IY,IZ
 2320 EXTO=EXTO+EXCSW(I)
      CSAT=DRS(3)
      IF(EXTO.GT.CSAT) EXTTL=EXTTL+(EXTO-CSAT)
      IF(EXTO.GT.CSAT) EXTO=CSAT
 2350 CONTINUE
      DO 2330 I=IY,IZ
      XCAP=CAPAC(I)-CONTNT(I)
      IF(XCAP.LT.0.0) XCAP=0.0
      XCAP=XCAP+DELTA(I)
      XD=XCAP
      IF(XD.GT.EXTTL) XD=EXTTL
```

```
0363                EXTTL=EXTTL-AD                                                  00005430
0364                IF(EXTTL.LT.0.0) EXTTL=0.0                                      00005440
0365                X(I)=XD                                                         00005450
0366           2330 CONTINUE                                                        00005460
0367                EXF=EXF/25.4                                                    00005470
0368                IF(EXF.GT.0.0)EXF=EXTTL/EXF                                     00005480
0369                IF(EXF.LE.0.0.OR.EXF.GT.1.0)EXF=1.0                             00005490
0370                DO 2360 I=IY,IZ                                                 00005500
0371                XD=EXCAP(I)*EXF                                                 00005510
0372                IF(XD.GT.EXTTL) XD=EXTTL                                        00005520
0373                EXTTL=EXTTL-XD                                                  00005530
0374                EXCSW(I)=XD                                                     00005540
0375           2360 CONTINUE                                                        00005550
0376                IF(ISEC.GT.0) PDL=PDL+EXTTL                                     00005560
0377           2340 CONTINUE                                                        00005570
0378                ISEC=ISEC+1                                                     00005580
0379                IF(ISEC.GT.1) GO TO 2370                                        00005590
0380                IY=1                                                            00005600
0381                IZ=IFRNT                                                        00005610
0382                PDL=PDL+AYE                                                     00005620
0383                XC=EXCS*(1)/EXCAP(1)                                            00005630
0384                XC=(2.0*XC)/3.0                                                 00005640
0385                CSLP=SLP*XC                                                     00005650
0386                RUNOFF=PLL*CSLP                                                 00005660
0387                IF(RUNOFF.LT.0.0) RUNOFF=0.0                                    00005670
0388                PDL=PDL-RUNOFF                                                  00005680
0389                EXTTL=PDL                                                       00005690
0390                CSAT=DRN(1)*F1                                                  00005700
0391                IF(EXTTL.GT.CSAT) EXTTL=CSAT                                    00005710
0392                PDL=PDL-EXTTL                                                   00005720
0393                EXTTL=EXTTL+EXTL                                                00005730
0394                AVE=EXTL                                                        00005740
0395                EXF=EXFRNT                                                      00005750
0396                GO TO 2350                                                      00005760
0397           2370 CONTINUE                                                        00005770
0398           2390 CONTINUE                                                        00005780
C                                                                                  00005790
0399            210 GOI=0.                                                         00005800
C                                                                                  00005810
CC                  APPLYING PRECIPITATION AND EVAPORATION TO EACH ZONE            00005820
C                                                                                  00005830
0400                DO 230 I=1,IZRS                                                00005840
0401                CONTNT(I)=CONTNT(I)-DELTA(I)+X(I)                              00005850
0402                IF(CONTNT(I).LT.0.)CONTNT(I)=0.                                00005860
0403            230 CONTINUE                                                       00005870
0404                E1=E1*25.4                                                     00005880
0405                PCP(3)=PCP(3)*25.4                                             00005890
0406                DPE=DPE*25.4                                                   00005900
0407                SURDEL=SURDEL*25.4                                             00005910
0408                TOPOD=0.0                                                      00005920
0409                II=0.0                                                         00005930
0410                DO 505 I=1,IZRS                                                00005940
0411                CONTNT(I)=CONTNT(I)+EXCSW(I)                                   00005950
```

```
      IF(I.LE.IPRNT) TI=TI+CONTNT(I)+PR--DI(I)
      IF(ODDPTH(I).LE.0.0) GO TO 505
      PRCNT(I)=CONTNT(I)+PRNDI(I)
      PRCNT(I)=(PRCNT(I)/(ODDPTH(I)-TOPOR))*100.0
      TOPOR=ODDPTH(I)
      IPLOT(I)=PRCNT(I)*(SCL+1.0)
      L=IPLOT(I)
      LPLOT(L)=1
  505 CONTNT(I)=CONTNT(I)*25.4
      RUNOFF=RUNOFF*25.4
      AYE=AYE*25.4
      ACCSNW=ACCSNW*25.4
      PDL=PDL*25.4
      AM=MIN(3)
      AM=(AM-32.)*5./9.
      MIN(3)=AM+100.5-100.
      AM=MAX(3)
      AM=(AM-32.)*5./9.
      MAX(3)=AM+100.5-100.
C
C     DAILY PRINTOUT
C
      WRITE(WP,11)IDENT(3),IDATE(3),IST,PCP(3),OPE ,SUMDEL,CONTNT,RUNOFF
     1,AYE,MIN(3),MAX(3),ACCSNW,E1,PDL
      IF(ODDPTH(1).LE.0.0) GO TO 3051
      WRITE(OP,3052) PRCNT,COF
 3052 FORMAT(23X,6F5.1,5X,6F5.2)
C
C     DAILY PLOT
C
      WRITE(IP,3075) IDENT(3),IDATE(3),LPLOT,PCP(3)
 3075 FORMAT(2I4,1X,100I1,1X,F5.1)
      IF(IHOR.LT.1) GO TO 3076
      DO 3076 I=1,IHOR
      WRITE(IP,3077)
 3077 FORMAT(' ',' ')
 3076 CONTINUE
      DO 3070 I=1,IZNS
      L=IPLOT(I)
      LPLOT(L)=0
 3070 CONTINUE
 3051 CONTINUE
      A1=0.
      MAX=MAX(3)
      MAX(3)=MAX*9./5.+32.
      MIN=MIN(3)
      MIN(3)=MIN*9./5.+32.
C
      PCP(3)=PCP(3)/25.4
      PDL=PDL/25.4
      DO 506 I=1,IZNS
      CONTNT(I)=CONTNT(I)/25.4
```

```
  50F CONTNT(I)=CONTNT(I)-WACS.(I)
  232 CONTINUE
   11 FORMAT(3X,I2,I4,I2,F5.1,2F4.1,6F5.1,2I4,F6.1,2F5.1)
      IDT=IDENT(3)*10000+IDENT(3)
      IF(IDT.EQ.IDATES(KOUNT+1))KOUNT=KOUNT+1
      DO 235 I=1,IZNS
  235 X(I)=0.
C     INITIALIZING DATA FOR NEXT DATE AND SMOOTHING TECHNIQUE
C
      RUNOFF=0.
      AYE=0.0
      E1=0.0
      R2=0.0
      P2=0.0
C
C     END OF RUN CHECK
C
      IF(KOUNT.EQ.NODATE)GO TO 241
      IF(IDENT(3).GT.NDYR) GO TO 3110
      GO TO 22
C
C      END OF RUN HOUSEKEEPING
C     AND SUMMARY PRINTOUT
C
  241 CONTINUE
C
C    YEARLY RESTART MODULE
C
      IF(IRTN.GT.(NDYR-ISYR)) GO TO 3110
      IF(NDYR.LE.ISYR) GO TO 3110
      DO 3120 I=1,NODATE
 3120 IDATES(I)=IDATES(I)+(10000*IRTN)
      KOUNT=1
      NRST2=1
      IF(NRST1.LT.1) GO TO 3132
      WRITE(3,3135)
 3135 FORMAT(8H RESTART)
      WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)
      WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)
      WFAC=1.0
      ACCSNW=SNSTR+.1
      W1=ACCSNW/25.4
      DO 3130 I=1,IZNS
 3130 CONTNT(I)=CONRST(I)
 3132 CONTINUE
      IF(IDATES(NODATE).LT.((NDYR+1)*10000)) GO TO 20
 3110 CONTINUE
C
      WRITE(IP,3095) (J,J=1,10)
 3095 FORMAT(9X,10I10)
      TOPOR=0.0
      DO 3080 I=1,IZNS
      DDIF=DEPTH(I)-TOPOR
```

```
      PCW1=PR  WI(1)/DEIP
      PCW2=(CAPAC(I)/DDI- )+PCW1
      PCW3=(EXCAL(I)/DELP)+PCW2
      TOPOB=DELPIH(I)
 3080 WRITE(IP,3085) I,PCW1,PCW2,PCW3
 3085 FORMAT(I5,3F10.5)
C
C
C    NEW CONTROL DATA FILE
C
      GO TO 252
  253 READ(1,987,END=250)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD
      GO TO 254
  252 CONTINUE
      READ(1,987,END=253)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD
  254 WRITE(3,987)NFLE,ISEN,NP,INT,IP,HEAD
      IF(ISEN.LT.1) GO TO 3192
C
C    NEW WEATHER FILE FILE
C
      IF(ISEN.LT.2.OR.ISEN.GT.5) GO TO 3196
C
C    NEW STARTING SOIL MOISTURE
C
      READ(1,502) CONRST
      WRITE(3,502)CONRST
      DO 3198 I=1,IZNS
      CONRST(I)=CONRST(I)-PREWLT(I)
      CONRST(I)=CONRST(I)/25.4
      IF(CONRST(I).GT.CAPAC(I)) CONRST(I)=CAPAC(I)
 3198 CONTINUE
 3196 CONTINUE
      ACCSNW=SNSTR*.1
      W1=ACCSNW/25.4
      DO 3194 I=1,IZNS
 3194 CONTNT(I)=CONRST(I)
      IF(ISEN.EQ.99) GO TO 20
      IF(NFLE.LT.1) GO TO 3190
 3192 CONTINUE
C
C    NEW CONTROLS AND WEATHER FILE
C
      IF(NFLE.GT.0) GO TO 9997
  250 WRITE(3,5)
    5 FORMAT(11H END OF RUN)
  251 CALL EXIT
      END
```

```
C
C     ZONE/DEPTH CONVERSIONS
C
C     CP242D - BASED ON B242 FROM AGMET
C     IT CONVERTS ANY DEPTH RELATED VARIABLE TO THE DESIRED
C     ZONE BASIS FOR VB111. THESE INCLUDE DEPTH TO THE
C     BOTTOM OF ZONES, WATER HOLDING PROPERTIES
C     AND K-COEFFICIENTS.
C
C     INPUT:
C     IZNS - NUMBER OF ZONES.
C     STNDRD - ZONES AS PER CENTS OF TOTAL DEPTH.
C     NODATE - NO. OF SETS OF OBSERVATIONS
C     NOD - NO. OF DEPTHS OBSERVED IN PROFILE,NOT TO EXCEED 6.
C     DEPTH - DEPTH OF SOIL IN EACH DEPTH
C     CAPD - CAPACITY OF EACH OF THE DEPTHS.
C     OBS - OBSERVED VALUE  OF EACH OF THE DEPTHS.
0001      DIMENSION DEPTH(6),CAPD(6),CAPZ(6),DZONE(6),OBS(6),OBZ(6)
0002      DIMENSION X(6),Y(6),Z(6),STNDRD(6)
0003  120 CONTINUE
0004      READ(1,11) STNDRD,IZNS
0005   11 FORMAT(6F5.3,5X,I5)
0006      IF(IZNS.LT.1) GO TO 110
0007      IF(IZNS.LT.2) IZNS=2
0008      DO 130 I=1,6
0009  130 DZONE(I)=0.0
0010      READ(1,1)NODTE,NOD,DEPTH,CAPD
0011    1 FORMAT(2I4,12F6.2)
0012      TCAPD=CAPD(1)+CAPD(2)+CAPD(3)+CAPD(4)+CAPD(5)+CAPD(6)
0013      DO 12 I=1,IZNS
0014      CAPZ(I)=TCAPD*STNDRD(I)
0015   12 CONTINUE
0016      WRITE(3,7) CAPZ
0017    7 FORMAT(6F5.1)
0018      J=1
0019      DO 9 I=1,IZNS
0020      X(I)=CAPZ(I)
0021      Y(I)=CAPD(I)
0022    9 Z(I)=DEPTH(I)
0023      DO 15 I=1,IZNS
0024    5 IF(Y(J).GE.X(I)) GO TO 10
0025      DZONE(I)=DZONE(I)+Z(J)
0026      X(I)=X(I)-Y(J)
0027      J=J+1
0028      GO TO 5
0029   10 XYZ=X(I)/Y(J)*Z(J)
0030      DZONE(I)=DZONE(I)+XYZ
0031      Z(J)=Z(J)-XYZ
0032      Y(J)=Y(J)-X(I)
0033   15 CONTINUE
0034      DO 20 I=2,IZNS
0035   20 DZONE(I)=DZONE(I)+DZONE(I-1)
```

```
0036                DO 30 I=2,NOD
0037             30 DEPTH(I)=DEPTH(I)+DEPTH(I-1)
0038                WRITE(3,2) DZONE,NOD,DEPTH,NODTF
0039              2 FORMAT(2(6F6.2,I4))
0040                DO 100 K=1,NODTF
0041                READ(1,6)(OBS(I),I=1,6)
0042              6 FORMAT(6F6.2)
0043              3 FORMAT(8X,6F6.2)
0044                DO 35 I=1,6
0045                IF(OBS(I).LE.0.) OBS(I)=0.
0046             35 OBZ(I)=0.
0047                WRITE(3,3) OBS
0048                TOM=0.
0049                J=1
0050                DEP=0.
0051                DO 60 I=1,IZNS
                C   CALCULATES CONTROL VALUES BY ZONE AND WRITES AS CPVB3 INPUT
0052             40 IF(DZONE(I).GT.DEPTH(J)) GO TO 50
0053                POBZ=(DZONE(I)-DEP)/(DEPTH(J)-DEP)*OBS(J)
0054                OBZ(I)=OBZ(I)+POBZ
0055                OBS(J)=OBS(J)-POBZ
0056                GO TO 60
0057             50 OBZ(I)=OBZ(I)+OBS(J)
0058                J=J+1
0059                DEP=DEPTH(J-1)
0060                GO TO 40
0061             60 TOM=TOM+OBZ(I)
0062                WRITE(3,4) OBZ,TOM
0063              4 FORMAT(6X,7F6.2)
0064            100 CONTINUE
0065                GO TO 120
0066            110 CONTINUE
0067                CALL EXIT
0068                END
```

Tableau B-1 CP242D Imprimé - Echantillon du programme

```
 12.7 12.7 13.4 12.7 26.1 50.4
  8.11 16.22 35.78 80.58178.74452.00    6 23.00 53.00114.00193.00300.00452.00    3
       35.90  6.70 19.50 18.80 12.30 34.70
      12.66 16.39  9.70 12.66 26.09 50.39127.90
      118.40 34.40156.10132.70144.10180.00
      41.76 54.06 37.23 90.32194.28348.05765.70
       14.50  3.80 10.20 10.10  5.30 12.60
        5.11  6.62  4.38  6.79 13.87 19.72 56.50
 36.5 36.5 38.7 36.5 75.1145.1
 10.42 20.84 45.96 73.70149.98401.00    5 23.00 71.00137.00249.00401.00  0.0    3
       80.50 65.00 62.60130.20 30.00  0.0
      36.46 39.89 35.24 36.46 75.13145.11368.30
      131.20118.50 83.30178.90185.20  0.0
      59.43 65.02 63.44 65.21100.63343.36697.10
       24.20 26.80 39.20 60.70  7.60  0.0
       10.96 11.99 14.07 15.58 44.63 61.27158.50
 67.0 67.0 71.0 67.0138.0266.5
 17.75 50.90 93.08140.98228.46452.00    6 18.00 51.00104.00178.00300.00452.00    3
       67.90 66.20 89.20 97.20216.00139.80
      66.95 66.95 71.01 66.95137.97266.46676.30
      105.30 75.00103.00 98.00218.70131.10
     103.83 76.25 81.99 70.20139.48259.35731.10
      40.90 47.70 63.20 71.80163.20101.70
      40.33 48.13 50.32 48.90103.42197.40488.50
  9.9  9.9 10.5  9.9 20.4 39.4
 20.01 48.79 80.71110.81188.94406.60    6  7.60 26.60 64.60140.60254.60406.60    5
       0.50  0.20  0.15  0.08  0.05  0.0
      0.63  0.16  0.08  0.04  0.05  0.03  0.98
       0.50  0.25  0.23  0.22  0.15  0.10
      0.66  0.22  0.14  0.11  0.13  0.19  1.45
       0.50  0.22  0.18  0.15  0.15  0.10
      0.64  0.18  0.11  0.07  0.11  0.19  1.30
       0.50  0.25  0.25  0.20  0.18  0.12
      0.66  0.23  0.15  0.10  0.14  0.22  1.50
       0.45  0.25  0.20  0.20  0.20  0.15
      0.61  0.20  0.13  0.10  0.15  0.27  1.45
```

ANNEXE C

PARAMETRES DE CONTROLE

La présente section décrit et énumère (tableau C-1) les paramètres de contrôle du BPIII. La définition des noms des variables d'entrée figurent dans les lignes de commentaire du programme. Le tableau A-1 permet à l'usager de relier les contrôles au corps du texte. Ils sont énumérés ici selon l'enregistrement particulier sur lequel chacun apparaît et selon sa position sur cet enregistrement. Chaque enregistrement est une carte perforée ou une image de carte et comporte 72 caractères. Le tableau C-1 énumère les paramètres d'entrée selon un ensemble numéroté de contrôles dont chacun se compose d'un ou plusieurs enregistrements. Chaque enregistrement est également précisé. Le tableau C-2 donne les instructions détaillées pour chaque variable d'entrée. Des fichiers-échantillons de paramètres de contrôle figurent au tableau C-3 pour deux textures différentes de sols. La description suivante vise les usagers qui ont une certaine connaissance de la programmation en langage Fortran sans être nécessairement des experts.

Les numéros entre parenthèses suivant certaines variables déterminent les dimensions des variables non scalaires. Les numéros isolés donnent la longueur de l'enregistrement ou le nombre total possible d'entrées pour les vecteurs. Par exemple, CAPAC(6) mémorise la capacité au champ pour les zones 1 à 6. Les variables suivies de deux numéros entre parenthèses, séparés par une virgule, sont des matrices. Par exemple, dans COEFS(5,6), il y a cinq rangées (une pour chaque stade de croissance possible) et six colonnes (jusqu'à six zones). Chaque rangée est une nouvelle carte (ou image de carte).

Les paramètres de contrôle se classent en deux catégories selon qu'ils sont des nombres entiers ou non entiers (réels). Selon les conventions standards du langage Fortran, les noms de variables qui commencent par une lettre de I à N sont des nombres entiers. Toutes les autres variables sont des nombres réels, sauf pour HEAD qui est un titre. Pour les entrées de nombres réels, la position de la virgule est précisée.

Les formats de tous les enregistrements d'entrées de contrôle figurent également au tableau C-1. Les lettres d'instructions de format (I, F et A) désignent des variables d'entrée entières, réelles et alphanumériques (carte-titre) respectivement. Le numéro figurant à gauche de chaque lettre indique le nombre de variables lu par chaque format, le nombre figurant à droite indique la longueur de l'enregistrement requis par chaque variable (ou élément de variable), et pour les nombres réels, le numéro suivant la décimale indique le nombre d'espaces après la décimale. Les espaces en blanc sont indiqués par des X.

Description du sol

Pour décrire un sol donné, il faut en définir les caractéristiques de séchage, de drainage et de rétention d'eau. La profondeur du sol et les schémas de zonation doivent également être précisés. L'indice des taux de séchage est appliqué par la définition de deux séries de paramètres dans les contrôles 3 et 5. Ce sont M9, H9 et R9, d'après les paramètres m, n, h et R figurant au tableau 1 dans le corps du texte. Les enregistrements 4 et 6 qui permettent la mise en mémoire des tables z, comme dans la version précédente, sont facultatifs et peuvent être laissés de côté. Le tableau E-2 résume les tables z. L'écriture des tables z est commandée par K dans l'enregistrement 3 (à ne pas confondre avec les coefficients k décrits dans le corps du texte).

Pour K égal à tout nombre entier autre que zéro, les tables z sont imprimées. Une carte vierge pour les séries 3 et 5 demande la mémorisation des tables z, ce qui nécessite dix cartes chacune pour les contrôles 4 et 6. Les contrôles 3 et 5 agencent la production interne des tables z. L'expression KNTROL définit le nombre de zones selon la première table z. Pour avoir la possibilité d'utiliser la seconde table z pour différencier entre une condition de culture et de jachère (voir la section intitulée "Autres courbes de séchage" dans le corps du texte), KNTROL = 7.

Propriétés de rétention d'eau du sol

Les propriétés de rétention d'eau comprennent le taux de saturation (EXCAP), la capacité au champ (CAPAC) et le point de flétrissement permanent (PRMNLT) de chaque zone. Le nombre de zones (ou couches de sols) est défini par le nombre d'éléments que comprend CAPAC (contrôle 7). Par exemple, pour décrire un bilan à quatre zones, entrer les valeurs des quatre premiers éléments de ce vecteur et laisser les deux derniers en blanc. Si plus de quatre valeurs sont entrées dans n'importe quel paramètre des contrôles 8 à 10, elles seront laissées de côté. Si moins de quatre valeurs sont entrées, les valeurs manquantes seront représentées par des zéros. La profondeur réelle (cm) au fond de chaque zone à partir de la surface est définie par OBDPTH (contrôle 10). Ces valeurs sont nécessaires pour imprimer les teneurs en eau du sol en pourcentage volumétrique ou pour les tracer. Les dimensions du tracé sont commandées par les symboles SCL et IHOR décrits à l'Annexe D.

La fonction d'infiltration/drainage est commandée par les trois volumes de drainage maximaux quotidiens (DRN(1-3)), le coefficient fractionnel d'échappement de la couche de drainage 1 (DRN(4)) et le nombre de zones dans la couche de drainage supérieure (IFRNT). D'autres facteurs importants sont la profondeur réelle de la couche de drainage 1 et les différences entre la saturation et la capacité au champ (EXCAP et CAPAC respectivement). Des valeurs par défaut pour DRN et IFRNT sont intégrées au programme de sorte que ces espaces peuvent être laissées en blanc. TRP et SSLP sont des paramètres expérimentaux servant à décrire l'eau de surface et les taux de ruissellement, et devraient être utilisés avec précaution. TRP est la profondeur moyenne de l'eau de surface emprisonnée dans les cuvettes et incapable de s'ajouter au ruissellement de surface. SSLP détermine le taux de ruissellement. Tous les paramètres d'infiltration/drainage sont réunis dans le contrôle 9.

Croissance des cultures et racines

La table des coefficients radiculaires est entrée, par zone et stade de croissance de la culture, dans COEFS (contrôle 11). S'il y a moins de six zones, disons quatre, alors seulement quatre coefficients k pour chaque stade de croissance sont nécessaires. Le nombre de coefficients k par stade ne devrait pas influer sur le facteur de consommation présumé pour chaque stade. Une carte de contrôle est nécessaire pour chacun des cinq stades de croissance, mais ces cartes peuvent être laissés en blanc. Cinq stades sont nécessaires puisque le contrôle 11 est toujours mémorisé par cinq étapes ou lignes de lecture.

Les dates de stade de croissance sont entrées par la lecture de l'ensemble IDATES dans le contrôle 13. Toutes les dates de stade de croissance de l'étude ne sont pas nécessaires comme entrées à moins qu'elles ne soient toutes uniques. Si les dates se répètent d'une année ou d'un groupe d'années à l'autre, alors les dates précisées dans IDATES peuvent être réutilisées, ce qui permet de réduire les données d'entrée nécessaires aux rotations de deux ans (ou plus). Par exemple, lorsque le nombre de stades de croissance mémorisés (ISTGES) est de 10 et que le nombre par année (NSY) est de 5 (contrôle 12), le programme donne un rotation de deux ans à répétition lorsque le nombre total d'années dépasse 2. Le nombre d'années analysé est établi par ISYAR et NDYAR (contrôle 12). Lorsque les années de départ (ISYR) et de fin (NDYR) sont données, seul le mois et le jour sont requis pour chaque date de stade de croissance, plutôt que l'année, le mois et le jour. Une date typique de stade comme le 15 juin 1963 se lirait comme "630615" ou simplement comme "0615" si ISYR est précisé. Lorsque les dates de stade ne se répètent pas dans l'étude, toutes les dates peuvent alors être entrées à la chaîne (12 dates par enregistrement) pourvu que le nombre total ne dépasse pas 65 et dépasse de 1 le nombre précisé de stades à lire (ISTGES).

Bilan nival

Pour appliquer ce sous-modèle, les dates de fin et de départ au printemps et à l'automne, ainsi que les températures seuils, sont nécessaires. Deux coefficients déterminant la proportion de neige quotidiennement tombée et ajoutée à la neige accumulée après déduction de la neige ventée sont entrés par SMCOF. La date de conversion du premier au second coefficient (KSNO) peut être précisée. On peut toutefois ignorer le sous-modèle nival par NOSNO. Tous les données de contrôle de ce sous-modèle sont sur le contrôle 2.

Options de reprise

L'une des caractéristiques du BPIII conçu pour satisfaire toute une gamme d'applications de fichiers météorologiques multiples est la souplesse des méthodes de reprise. Les possibilités comprennent l'aptitude à analyser (1) les fichiers météorologiques complets avec un seul jeu de contrôles précisé dans le bilan; (2) plus d'un segment de fichier météorologique, en sautant des périodes du fichier, seules les dates des stades de croissance et de la période de l'étude (ISYR et NDYR) étant précisées de nouveau; (3) des fichiers météorologiques multiples avec un nouveau jeu de contrôles pour chaque

fichier; (4) des fichiers météorologiques multiples avec le jeu original de contrôles; (5) des fichiers météorologiques multiples avec les contrôles originaux, les teneurs en eau initiales étant toutefois redéfinies pour chaque fichier; (6) des fichiers météorologiques multiples, seules les dates des stades de croissance et de départ-fin étant redéfinies pour chaque fichier; et (7) des fichiers météorologiques multiples, la teneur en eau initiale et les dates de contrôle étant redéfinies sans modifier d'autres contrôles. Ces options sont illustrées dans l'ordinogramme de la figure A-1.

Les options de reprise sont commandées par les variables NFLE et ISEN (contrôles 1 et 14). Les teneurs en eau du sol sont appliquées de nouveau après la date du dernier stade de croissance précisé (c'est-à-dire fin de la rotation) par la lecture de CONRST sur le contrôle 15. Une valeur entière doit être donnée pour MRSTI (sur le contrôle 8), faute de quoi la teneur en eau du sol est reprise à la fin de chaque rotation sans redéfinir d'autres contrôles ni sauter de relevés météorologiques. NFLE et ISEN peuvent être laissés en blanc sur le premier enregistrement, mais sont réintroduits à la fin du programme.

Les paramètres de contrôle de la reprise sont précisés de la manière suivante: NFLE peut être 0 ou 1, ISEN peut être 0, 1, 2 ou 99 et MRSTI peut être 0 ou 1. Pour NFLE = 0 et ISEN = 99, le programme poursuit la lecture, mais ne calcule pas jusqu'à la fin du fichier météorologique et lit ensuite un nouveau NFLE et ISEN. Pour NFLE = 0 et ISEN = 1, le programme reprend avec les teneurs en eau originales de départ, alors que si ISEN = 2, un nouvel ensemble de teneurs en eau de départ est mémorisé. Lorsque NFLE > 0, le programme lit un nouvel ensemble complet de contrôles au lieu de suivre ISEN.

Une autre possibilité consiste à entrer les coefficients de contrôle dans deux fichiers. Lorsque l'enregistrement numéro 14 n'est pas fourni, le programme recherche un autre enregistrement 14 s'il rencontre une fin de fichier. Le nouvel enregistrement doit alors être fourni dans un nouveau fichier. Cette possibilité est utile lorsque le bilan est appliqué à plusieurs emplacements ou fichiers de données météorologiques par un jeu de contrôles qui peuvent être modifiés ou remplacés.

TABLEAU C-1 Données de contrôle nécessaires pour passer le BPIII en machine, présentées suivant l'ordre des enregistrements, des noms des variables et du format de chaque enregistrement

NUMERO DE CONTROLE	NOMS DES VARIABLES ET DIMENSIONS	FORMATS DES ENTREES	FORMATS D'ENREGISTREMENT REPETES
1	NFLE, ISEN, NP, INT, IP, HEAD(57 caractères)	(5I3,14A4, A1)	
2	ISFL, IESG, IFTP, ISTP, SMCOF(2), NOSMO, KSMO	(4I6, 6X, 2F10.5, 2I5)	
3	M9, M9, M9, R9, K, KNTROL	(2I5, 2F10.5, 2I5)	
4	TABLE 1(100)	(10F5.2)	x10
5	M9, M9, M9, R9, K	(2I5, 2F10.5, I5)	
6	TABLE 2(100)	(10F5.2)	x10
7	CAPAC(6)	(6F5.1)	
8	CONTNT(6), SMSTR, PESTR, MRSTI, IDRN, NDRN	(6F5.1, 5X, 2F5.1, I5, 10X,2I5)	
9	EXCAP(6), TRP, SSLP, DRN(6), IFRNT*	(14F 5.1, I2)	
10	PRMALT(6), OBDPTH(6), SCL, IHDR	(6F 5.1,5X, 6F5.1, F5.2, I2)	
11	COEFS(5,6)	(6F5.2)	x5
12	ISTGES, NEM, ISYR, NDYR, NSY	(2I4, 8X, 3I4)	
13	IDATES(65)	(13I6)	x(1 à 5)
14	NFLE, ISEN, NP, INT, IP, HEAD(57 caractères)	5I3, 14A4, A1)	
15	CONRST(6)	(6F5.1)	
16	ISTGES, NEM, ISYR, NDYR, NSY	(2I4, 8X, 3I4)	
17	IDATES(65)	(12I6)	x(1 à 5)
18	***laisser la carte en blanc pour terminer la tache***	---	

Nota: Les contrôles 4, 6, 14, 15, 16 et 17 sont tous facultatifs et peuvent être omis

*Laisser en blanc le DRN(5) et le DRN(6)

Tableau C-2 INSTRUCTIONS POUR L'ENTREE DES PARAMETRES DE CONTROLE

Numéro de contrôle	Format	Description des variables
1	COL 1 TO 6	NFLE,ISEN: RESTART PARAMETERS, BLANK OR ZERO ON FIRST CARD
	7 TO 9	NP : OUTPUT UNIT OF THE DAILY PRINT ALL THE INPUT RECORDS OF THE CONTROL FILE ARE PRINTED ON UNIT 3
	10 TO 12	INT : INPUT UNIT FOR THE WEATHER DATA FILE FORMAT: (7X,I2,I4,2F4.1,8X,F4.1,11X,F4.1) IDENT,LDATE,PAX,PIN,PCP,PE IDENT: YEAR LDATE: MONTH,DAY PAX : DAILY MAXIMUM TEMPERATURE (C) PIN : DAILY MINIMUM TEMPERATURE (C) PCP : DAILY PRECIPITATION (MM) PE : DAILY POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION (MM)
	13 TO 15	IP : OUTPUT UNIT FOR THE SOIL-MOISTURE PLOT
	16 TO 80	HEAD : TITLE WRITING WITH 65 CHARACTERS
2	COL 1 TO 6	ISFL : BEGINNING DATE OF WINTER (SNOW) BUDGET. SEE TABLE 2.
	7 TO 12	IESG : ENDING DATE OF WINTER BUDGET. SEE TABLE 2
	13 TO 18	IFTP : RAIN/SNOW TRESHOLD TEMPERATURE FOR FALL
	19 TO 24	ISTP : RAIN/SNOW TRESHOLD TEMPERATURE FOR SPRING. SEE TABLE 2 IN TEXT
	31 TO 50	SNCOF : % OF SNOW REMAINING AFTER BLOW-OFF (2 VALUES) WHEN THE SOIL SURFACE CONDITIONS ARE NOT CHANGING BETWEEN 2 WINTERS, SNCOF(1) SHOULD HAVE THE SAME VALUE AS SNCOF(2). SNCOF(1) IS FOR SNOW BLOW-OFF IN THE FIRST WINTER WHILE SNCOF(2) IS FOR THE SECOND WINTER. SNCOF(1 OR 2) HAS A HIGH VALUE (0.7) FOR A GROUND COVER (SOD OR STUBBLE) AND A LOW VALUE (0.5) FOR BARE SOIL.
	COL 51 TO 55	NOSNO : THE SNOW SUBMODEL BYPASS =0 CALCULATION OF THE SNOW BUDGET =1 BYPASS THE SNOW BUDGET
	56 TO 60	KSNO : SNOW BLOW DATE CHANGE.FIXES THE DATE AFTER WHICH SNCOF(2) WILL BE USED INSTEAD OF SNCOF(1). SUGGEST KSNO=0701 FOR NORMAL CROP GROWTH.

3	COL 1 TO 30	M9,N9,H9,R9:	DRYING CURVES INDEX PARAMETERS. SEE TABLE 1 IF M9=N9=0, THE ORIGINAL Z-TABLES WILL BE USED (APPENDIX E-2) M9 AND N9 ARE 0 OR 1
	31 TO 36	K	: Z-TABLE WRITE CONTROL K=0 NO PRINTING K=1 PRINTING ON UNIT 3 OF THE DRYING CURVES AS CALCULATED OR READ
	37 TO 41	KNTROL	: NUMBER OF ZONES USING THIS FIRST DRYING CURVE KNTROL=7 THE SECOND TABLE (RECORDS 4 AND 5) WILL BE USED ONLY FOR FALLOW CONDITIONS KNTROL=6 DEFAULT VALUE
OPT 4	COL 1 TO 50	TABLE1	: ORIGINAL Z-TABLES THESE RECORDS AREN'T REQUIRED IF Z-TABLES HAVE TO BE CALCULATED FOLLOWING EQUATION 2
5			SAME MEANINGS AS FOR CONTROL NUMBER 3. KNTROL DOESN'T HAVE TO BE DEFINED.
OPT 6			SAME MEANING AS CONTROL NUMBER 4
7	COL 1 TO 30	CAPAC	: FIELD CAPACITY (MM) FOR EACH ZONE. E.G. FOR 4 ZONES, CAPAC(5) AND CAPAC(6) CAN BE BLANK
8	COL 1 TO 30	CONTNT	: INITIAL SOIL-MOISTURE CONTENT IN EACH ZONE (MM)
	36 TO 40	SNSTR	: INITIAL ACCUMULATION OF SNOW ON GROUND
	41 TO 45	PESTR	: VALUE OF POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION =0 POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION IS READ ON THE WEATHER DATA FILE >0 A FIXED VALUE OF THE POTENTIAL EVAPOTRANSPIRATION. E.G. FOR CONTROLLED ENVIRONMENT
	46 TO 50	NRSTI	: MOISTURE RE-INITIALIZE PARAMETER. MUST =1 TO RE-INITIALIZE SNSTR AND CONTNT. OTHERWISE =0
	56 TO 65	IDFN, NDFN	: DATES FOR NO RAIN ASSUMED

9	COL 1 TO 30	EXCAP	: TOTAL VOID SPACE OF EACH ZONE (MM) OR SATURATION LEVEL WATER CONTENTS FOR EACH ZONE
	31 TO 35	TRP	: SURFACE WATER TRAPPED IN DEPRESSIONS AND NOT AVAILABLE FOR SURFACE RUNOFF
	36 TO 45	SSLP	: SLOPE/RUNOFF COEFFICIENT. DETERMINES THE RATE OF RUNOFF
	46 TO 50	DRN	: DRAINAGE RATE AND LIMITS. MAXIMUM WATER VOLUME DRAINING FROM THE SURFACE TO DRAINAGE LAYER1 (DRN(1)) FROM DRAINAGE LAYER 1 TO DRAINAGE LAYER 2 (DRN(2)) OUT OF THE BOTTOM OF DRAINAGE LAYER (DRN(3)) DRN(4) IS THE RATE OF DRAINAGE OUT OF DRAINAGE LAYER 1 DEFAULT VALUE DRN(1)= EXCESS WATER CAPACITY IN THE DAINAGE LAYER 1 DRN(2)= DRN(1); DRN(3)= DRN(2); DRN(4)=20%
	76 TO 78	IFPNT	: NUMBER OF ZONES IN DRAINAGE LAYER 1
10	COL 1 TO 30	PRMWLT	: PERMANENT WILTING POINT (MM) OF EACH ZONE
	COL 31 TO 60	OBDPTH	: BOTTOM DEPTH OF EACH ZONE (CMS), OPTIONNEL
	COL 66 TO 70	SCL	: THE PLOT SCALING FACTOR FOR SOIL-MOISTURE AXES =0 FOR ONE CHARACTER PER ONE PERCENT VOLUMETRIC =1 FOR TWO CHARACTERS PER ONE PERCENT
	71 TO 73	IHOR	: HORIZONTAL FACTOR. NUMBER OF LINES BETWEEN DAYS. IHOR=0 NO LINES SKIPPED
11	COL 1 TO 30	COEFS	: CROP COEFFICIENTS FOR EACH ZONE AND 5 STAGES. IF LESS THAN 5 STAGES ARE CONSIDERED, BLANK CARDS MUST BE INSERTED TO COMPLETE FIVE CARDS.
12	COL 1 TO 4	ISTGES	: TOTAL NUMBER OF CROP DEVELOPMENT STAGES
	5 TO 8	NEW	: CROP STAGE FOR K-ADJUSTMENT START. SEE EQUATION 2
	17 TO 20	ISYR	: STARTING YEAR
	21 TO 24	NDYR	: LAST YEAR OF RUN
	25 TO 28	NSY	: CROP STAGES PER YEAR OR ROTATION.

```
    13    COL  1 TO 72    IDATES   : CROP DEVELOPMENT STAGE DATES ENTER YEAR,MONTH, DAY OF STARTING DATE OF EACH
                                     STAGE PLUS THE DATE OF THE RUN END (YEAR IS OPTIONNAL)
                                     NUMBER OF DATES= ISTGES+1

OPT 14    COL  1 TO  3    NFLE,ISEN: RESTART PARAMETERS
                                     NFLE =1       ISEN IS OVER-RIDDEN AND THE PROGRAM READS A COMPLETE NEW
                                     SET OF CONTROLS.  CONTROL NUMBER 2 TO 13 MUST BE PROVIDED
                                     NFLE=0,ISEN=0 ENDS JOB
                                     NFLE=0,ISEN=1  PROGRAM RE-INITIALIZE WITH THE ORIGINAL STARTING MOISTURE
                                     CONTENT AS READ ON CONTROL NUMBER 8.  CONTROL NUMBER 16 AND 17 MUST BE PROVIDED
                                     NFLE=0,ISEN=2  PROGRAM READS A NEW SET OF MOISTURE CONTENT CONTROL NUMBER
                                     15, 16, 17 MUST BE PROVIDED
                                     NFLE=0,ISEN=99 WEATHER DATA FILE READ TO THE END WITHOUT COMPILATION AND
                                       A NEW CONTROL NUMBER 14 WILL BE READ.  THIS ALLOW MULTIPLE FILE PROCESSING.
              COL  7 TO 80    NP,INT,IP,HEAD :SAME MEANING AS ON CONTROL NUMBER 1

OPT 15    COL  1 TO 30    CONSRST  : NEW SET OF INITIAL SOIL MOISTURE CONTENTS
                                     WHICH MUST BE PROVIDED IF NFLE=0,ISEN= 2

OPT 16, 17                         SAME AS ON CONTROL NUMBER 12 .  MUST BE PROVIDED IF NFLE =0, ISEN >0 BUT < 99

    18                       *** BLANK CARD TO END JOB ***
```

Tableau C-3 PARAMETRES-ECHANTILLONS DE CONTROLE

LOAM ARGILEUX

```
   1   1  16  13  16      OTTAWA
 1101    401       5       7           0.70000   0.50000     0     0
    1      1    1.00000    0.60000     0      6
    1      1    1.00000    0.60000     0
 30.0  30.0  60.0120.0   0.0   0.0
 40.0  40.0  60.0120.0   0.0   0.0          0.0   0.0      0              0      0
 50.0  50.0100.0200.0   0.0   0.0    0.0   5.0  50.0   0.0   0.0  60.0   0.0   0.0  1
  5.0   5.0  10.0  20.0   0.0   0.0         15.0  30.0  60.0120.0   0.0   0.0  1.00  0
 0.63  0.16  0.12  0.08  0.0   0.0
 0.64  0.20  0.21  0.29  0.0   0.0
 0.64  0.18  0.18  0.30  0.0   0.0
 0.64  0.23  0.22  0.36  0.0   0.0
 0.61  0.20  0.23  0.40  0.0   0.0
   5     4                 60    65     5
    501      601      709     816     923    1120
   0  99  16  13  16      END
   0   1  16  13  15      HARROW
   5     4                 60    65     5
    501      601      709     816     923    1120
   0   0   0   0   0
```

SABLE

```
   1   1   9  13   8      OTTAWA
 1101    401       5       7           0.60000   0.80000     0     0
    1      0     0.0       0.50000     0      6
    1      0     0.0       0.50000     0
 15.0  15.0  30.0  10.0   0.0   0.0
 25.0  25.0  30.0  60.0   0.0   0.0          0.0   0.0      0              0      0
 45.0  45.0  90.0180.0   0.0   0.0    0.0   5.0  50.0   0.0   0.0  80.0   0.0   0.0  2
  0.0   0.0   0.0   0.0   0.0   0.0         15.0  30.0  60.0120.0   0.0   0.0  1.00  0
 0.63  0.16  0.12  0.08  0.0   0.0
 0.64  0.20  0.21  0.29  0.0   0.0
 0.64  0.18  0.18  0.30  0.0   0.0
 0.64  0.23  0.22  0.36  0.0   0.0
 0.61  0.20  0.23  0.40  0.0   0.0
   5     4                 60    65     5
    501      601      709     816     923    1120
   0   0   0   0   0
```

ANNEXE D

DONNEES DE SORTIE

Les données de sortie du BPIII ont été modifiées par rapport au programme précédent. Une ligne supplémentaire de résultats par jour a été ajoutée pour donner les teneurs en eau de chaque zone en pourcentage volumétrique, les coefficients k et l'eau de surface. Un tableau aidera l'usager à interpréter les résultats; le tableau D-1 présente l'imprimé quotidien sous forme d'une table à 20 colonnes avec une ou deux lignes par jour. La second ligne est facultative selon que les teneurs en eau du sol sont exprimées en pourcentage volumétrique ou non. Si les profondeurs du sol (qui sont également facultatives) ne sont pas définies, les teneurs en eau du sol en pourcentage volumétrique ne sont pas calculées. Le tableau D-2 donne un exemple de l'imprimé.

Le BPIII donne un autre type de résultats quotidiens sous forme graphique. Un tracé crée de façon simple sur imprimante ligne par ligne donne la teneur en eau du sol sur une base volumétrique pour chaque zone. Les symboles représentant chaque zone sont des nombres entiers de 1 à 6 pour les zones de 1 à 6 respectivement. Les dates (colonnes de gauche) et la précipitation quotidienne (colonne de droite) sont incluses dans le tracé. Le tableau D-3 illustre le tracé de quatre zones. Les lignes tracées à la main qui relient les numéros de zones illustrent les teneurs en eau ainsi mises en graphique.

L'option du graphique est commandée par des paramètres du contrôle 10. L'échelle de l'axe de la teneur en eau du sol est commandée par SCL. La fonction par défaut, lorsque SCL est zéro, est de un caractère par unité de pourcentage volumétrique. Le nombre de caractères qui représentent chaque pourcentage de teneur en eau volumétrique est multiplié par un facteur de 1.+ SCL. L'échelle de temps est commandée par IHOR qui indique le nombre de lignes supplémentaires par jour ou de lignes sautées entre les jours. Lorsque IHOR = 0, aucune ligne n'est sautée. Pour utiliser efficacement l'option du graphique, l'unité de sortie pour le graphique (IP) doit différer de l'unité de sortie pour les imprimés quotidiens (NP) (voir le contrôle 1). Lorsqu'aucune profondeur de zone (OBDPTH) n'est précisée, il n'y a pas de mise en graphique.

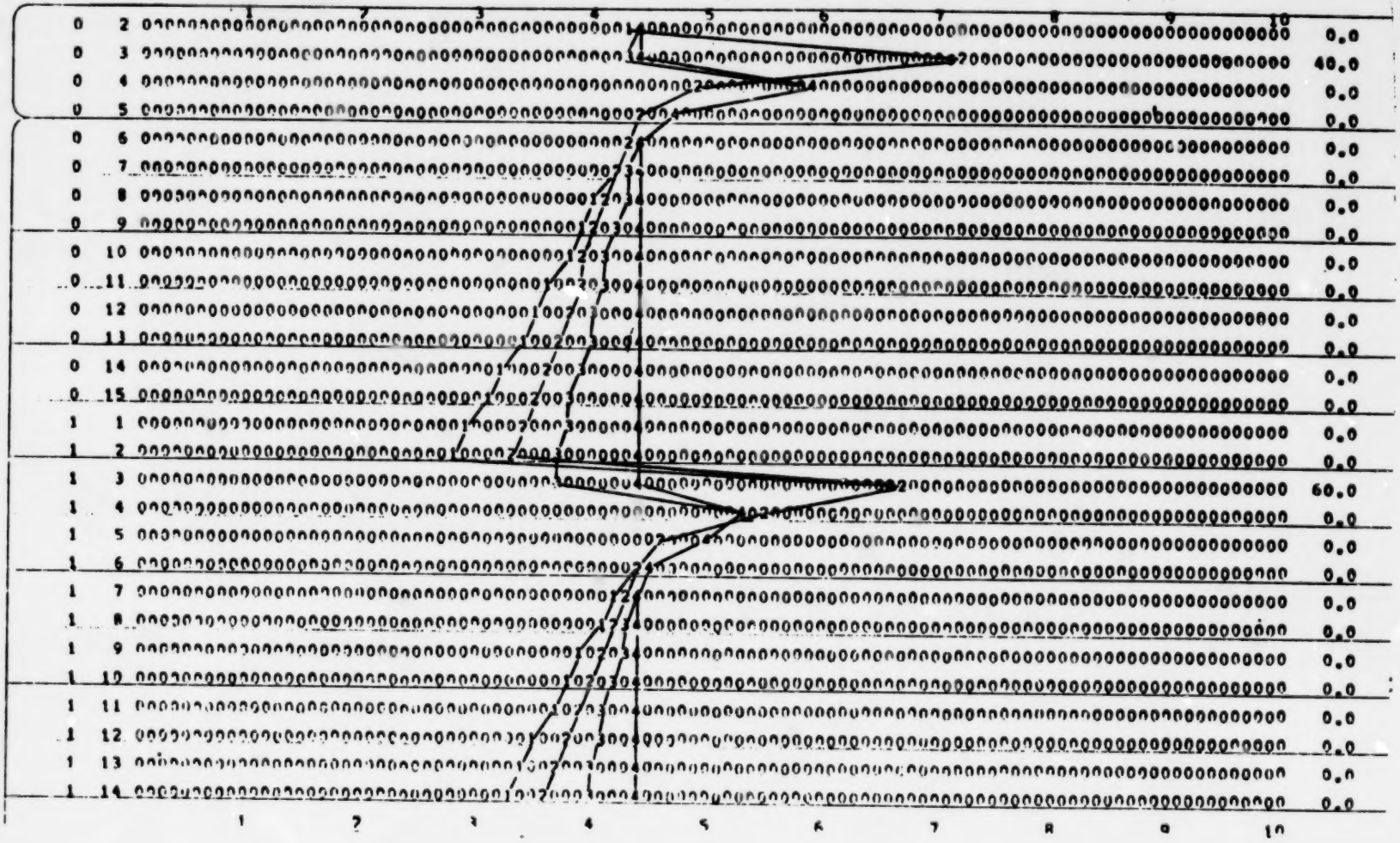
Tableau D-1 Guide de lecture de résultats

Colonne	Type de variable	Définition des variables
Ligne 1		
1	entière	année
2, 3	entière	mois, jour
4	entière	numéro du stade de croissance
5	réelle	précipitation (pluie ou neige)
6, 7	réelle	EP, ER (mm)
8, 13	réelle	teneur en eau disponible; zones 1 à 6 (mm)
14, 15	réelle	ruissellement, drainage (mm)
16	entière	température quotidienne minimale (°C)
17	entière	température quotidienne maximale (°C)
18	réelle	neige accumulée, peut inclure de l'eau de fonte (mm)
19	réelle	eau de fonte (mm)
20	réelle	eau emprisonnée à la surface (mm)
Ligne 2		
8, 13	réelle	teneur en eau du sol, zones 1 à 6, exprimée en pourcentage volumétrique (mm)
15, 20	réelle	coefficients k utilisés chaque jour dans les zones 1 à 6; tiennent compte des ajustements de k

Tableau D-2 Echantillon de résultats quotidiens

60	502	1	0.0	3.6	3.6	15.6	15.6	34.0	21.3	0.0	0.0	0.0	50.0	0	16	0.0	0.0	0.0	0.0				
						10.4	10.4	11.3	3.5	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	503	1	0.0	4.8	4.8	12.2	14.2	30.0	10.0	0.0	0.0	0.0	15.3	3	23	0.0	0.0	0.0					
						8.1	9.5	10.0	1.7	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	504	1	0.0	4.8	4.8	9.1	13.4	29.4	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	8	24	0.0	0.0	0.0					
						6.1	9.0	9.8	1.6	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	505	1	0.0	5.3	5.3	5.8	12.6	28.8	9.1	0.0	0.0	0.0	0.0	6	25	0.0	0.0	0.0					
						3.8	8.4	9.6	1.5	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	506	1	0.0	4.6	3.9	3.5	11.9	28.2	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11	25	0.0	0.0	0.0					
						2.4	7.9	9.4	1.5	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	507	1	0.0	4.6	3.0	2.2	11.1	27.7	8.4	0.0	0.0	0.0	0.0	13	27	0.0	0.0	0.0					
						1.4	7.4	9.2	1.4	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	508	1	0.0	3.8	2.1	1.5	10.5	27.2	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0	14	24	0.0	0.0	0.0					
						1.0	7.0	9.1	1.3	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	509	1	9.7	3.0	1.5	10.8	10.0	26.9	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	13	21	0.0	0.0	0.0					
						7.2	6.7	9.0	1.3	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	510	1	0.3	3.3	3.3	9.0	9.5	26.5	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0	3	17	0.0	0.0	0.0					
						6.0	6.3	8.8	1.3	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	511	1	3.6	3.6	3.6	10.3	8.9	26.0	7.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8	19	0.0	0.0	0.0					
						6.9	5.9	8.7	1.2	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	512	1	16.8	2.3	2.3	17.1	17.1	25.7	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	9	16	0.0	0.0	0.0					
						11.4	11.4	8.6	1.2	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	513	1	17.3	2.5	2.5	23.1	23.1	28.8	6.9	0.0	0.0	0.0	0.0	9	17	0.0	0.0	0.0					
						15.4	15.4	9.6	1.2	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	514	1	0.0	2.3	2.3	15.7	15.7	32.1	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10	17	0.0	0.0	0.0					
						10.5	10.5	10.7	2.7	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	515	1	1.5	2.6	2.8	15.0	14.5	30.1	10.4	0.0	0.0	0.0	8.2	10	18	0.0	0.0	0.0					
						10.0	9.7	10.0	1.7	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	516	1	0.0	3.0	3.0	13.1	14.1	29.6	9.8	0.0	0.0	0.0	0.5	12	20	0.0	0.0	0.0					
						8.7	9.4	9.9	1.6	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	517	1	0.3	4.3	4.3	10.7	13.4	29.1	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	10	23	0.0	0.0	0.0					
						7.1	8.9	9.7	1.6	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	518	1	0.0	4.6	4.6	7.8	12.6	28.6	9.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15	26	0.0	0.0	0.0					
						5.2	8.4	9.5	1.5	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	519	1	0.0	4.3	4.3	5.0	11.9	28.0	8.7	0.0	0.0	0.0	0.0	10	23	0.0	0.0	0.0					
						3.3	8.0	9.3	1.4	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	520	1	0.0	5.3	4.2	2.8	11.1	27.4	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0	8	26	0.0	0.0	0.0					
						1.9	7.4	9.1	1.4	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					
60	521	1	0.8	5.1	3.0	2.4	10.3	26.8	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	10	26	0.0	0.0	0.0					
						1.6	6.8	8.9	1.3	0.0	0.0		0.63	0.16	0.12	0.08	0.0	0.0					

Tableau D-3 Exemple d'un tracé ligne par ligne à l'aide de données météorologiques simulées



ANNEXE E

COEFFICIENTS D'EVAPOTRANSPIRATION (k, Z)

Tableau E-1 Coefficients k disponibles pour plusieurs cultures et façons culturales

Zone	1	2	3	4	5	6
Stades			Brome			
Saison de dormance	0,50	0,20	0,10	0,04	0,02	0,01
Saison de végétation	0,55	0,19	0,17	0,08	0,03	0,01
			Luzerne			
SS-FC[a]	0,50	0,20	0,15	0,12	0,08	0,05
FC-1st	0,50	0,25	0,23	0,22	0,15	0,10
1st-FC	0,50	0,22	0,18	0,15	0,15	0,10
FC-2nd	0,50	0,25	0,25	0,20	0,18	0,12
2nd-FC	0,45	0,25	0,20	0,20	0,20	0,15
			Soja[b]			
P-E[d]	0,20	0,15	0,15	0,10		
E-F	0,20	0,20	0,15	0,10	0,05	0,05
F-Pf	0,15	0,15	0,10	0,10	0,10	0,05
Pf-Fe	0,15	0,15	0,20	0,20	0,15	0,10
Fe-M	0,10	0,15	0,20	0,15	0,10	0,10
			Céréales à petites graines[c]			
P-E ou R-P[d]	0,40	0,15	0,12	0,10	0,02	0,01
E-J	0,40	0,20	0,13	0,12	0,03	0,02
J-H	0,40	0,25	0,15	0,12	0,10	0,03
H-S	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05
S-R	0,40	0,30	0,20	0,15	0,07	0,03
			Maïs			
P-E[d]	0,40	0,15	0,12	0,10	0,02	0,01
E-T	0,40	0,20	0,13	0,12	0,03	0,02
T-Si	0,40	0,25	0,15	0,12	0,10	0,03
Si-Ee	0,40	0,30	0,20	0,15	0,10	0,05
Ee-M	0,40	0,30	0,20	0,15	0,07	0,03

a Symboles utilisés pour définir les stades: SS, début de la saison de végétation; FC, couverture végétale complète; 1st, première coupe, 2nd, seconde coupe; P, plantation; E, levée; F, floraison; Pf, remplissage des gousses; Fe, fin de la floraison; M, maturité; R, mûrissement; J, début de la montaison; H, épiaison; S, stade pâteux mou; T, formation de la panicule; Si, apparition des soies; Ee, sortie des épis.

b Statistiques sur le soja tirées de Ravelo (1978).

c Les céréales à petites graines comprennent le blé, l'orge et le millet.

d Comprend la jachère ou le sol nu.

Tableau E-2 Tables z utilisées dans le BP et représentant diverses caractéristiques de libération de l'eau du sol

A

99,99	50,00	33,00	25,00	20,00	16,66	14,28	12,50	11,11	10,00
9,09	8,33	7,69	7,14	6,67	6,25	5,88	5,56	5,26	5,00
4,76	4,55	4,35	4,17	4,00	3,85	3,70	3,57	3,45	3,33
3,23	3,13	3,30	2,94	2,86	2,78	2,70	2,63	2,56	2,50
2,44	2,38	2,33	2,27	2,22	2,17	2,13	2,08	2,04	2,00
1,96	1,92	1,89	1,85	1,82	1,79	1,75	1,72	1,69	1,67
1,64	1,61	1,59	1,56	1,54	1,52	1,49	1,47	1,45	1,43
1,41	1,39	1,37	1,35	1,33	1,32	1,30	1,28	1,27	1,25
1,23	1,22	1,20	1,19	1,18	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11
1,10	1,09	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

B

10,00	10,00	8,33	7,50	7,40	7,16	7,00	6,87	6,44	6,00
5,81	5,58	5,38	5,21	5,00	4,75	4,52	4,33	4,16	4,00
3,86	3,73	3,60	3,50	3,40	3,31	3,22	3,14	3,07	2,97
2,90	2,81	2,76	2,68	2,63	2,55	2,49	2,44	2,38	2,33
2,26	2,24	2,18	2,13	2,11	2,06	2,02	1,97	1,94	1,92
1,88	1,85	1,81	1,78	1,76	1,73	1,70	1,67	1,66	1,63
1,60	1,58	1,56	1,53	1,52	1,50	1,47	1,46	1,43	1,41
1,40	1,38	1,36	1,35	1,33	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25
1,23	1,21	1,20	1,19	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11
1,09	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

C

1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

D

0,00	0,00	0,00	0,00	0,20	0,16	0,14	0,13	0,11	0,10
0,09	0,16	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,17	0,15	0,15
0,14	0,18	0,17	0,21	0,20	0,19	0,22	0,21	0,24	0,23
0,26	0,25	0,27	0,29	0,29	0,30	0,32	0,34	0,36	0,35
0,36	0,37	0,37	0,39	0,40	0,41	0,43	0,46	0,47	0,48
0,49	0,50	0,54	0,56	0,56	0,59	0,61	0,64	0,66	0,68
0,70	0,76	0,79	0,83	0,85	0,91	1,00	1,03	1,16	1,41
1,40	1,38	1,35	1,34	1,33	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25
1,23	1,21	1,19	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

suite à la page suivante

Tableau E-2 (suite)

E

0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20
0,21	0,23	0,25	0,27	0,29	0,31	0,32	0,34	0,36	0,38
0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52	0,54	0,56	0,60
0,65	0,65	0,70	0,71	0,74	0,78	0,81	0,91	1,05	1,25
1,34	1,43	1,63	1,82	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
1,96	1,92	1,89	1,85	1,82	1,79	1,75	1,72	1,69	1,67
1,64	1,61	1,59	1,56	1,54	1,52	1,49	1,47	1,45	1,43
1,41	1,39	1,37	1,35	1,33	1,32	1,30	1,28	1,27	1,25
1,23	1,22	1,20	1,19	1,18	1,16	1,15	1,14	1,12	1,11
1,10	1,09	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

F

1,00	0,75	0,66	0,50	0,60	0,66	0,85	1,12	1,44	1,66
1,82	2,33	2,69	3,00	3,33	3,43	3,70	3,89	4,00	4,00
4,00	4,00	4,00	3,91	3,80	3,69	3,59	3,50	3,41	3,33
3,20	3,10	3,00	3,92	2,85	2,77	2,69	2,60	2,55	2,50
2,45	2,37	2,30	2,26	2,22	2,16	2,10	2,07	2,04	2,00
1,95	1,90	1,86	1,83	1,80	1,77	1,75	1,72	1,69	1,66
1,63	1,60	1,58	1,56	1,53	1,51	1,49	1,47	1,45	1,42
1,40	1,38	1,36	1,34	1,32	1,30	1,28	1,27	1,26	1,25
1,23	1,21	1,19	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
1,10	1,09	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

G

1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
1,40	1,38	1,35	1,34	1,33	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25
1,23	1,21	1,19	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00

H

2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
1,96	1,92	1,88	1,85	1,81	1,78	1,75	1,72	1,69	1,67
1,64	1,61	1,59	1,56	1,53	1,52	1,49	1,47	1,45	1,43
1,40	1,38	1,35	1,34	1,33	1,31	1,29	1,28	1,26	1,25
1,23	1,21	1,19	1,18	1,17	1,15	1,14	1,13	1,12	1,11
1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01	1,00